

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

VIABILITÉ ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE D'UN PROJET
D'AGROÉCOLOGIE PRENANT PLACE DANS DES COMMUNAUTÉS
RURALES DE L'AMAZONIE BRÉSILIENNE

THÈSE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE DU
DOCTORAT EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR
ANNIE BÉLIVEAU

JUILLET 2016

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»



DÉDICACE


Cette thèse est dédiée à Robert Davidson
qui nous a quitté trop tôt, trop vite

*Chercheur passionné et humaniste
amoureux des gens, de la vie et de l'art
ta bonté, ta générosité et ton œuvre
te gardent toujours vivant*

*Ton souvenir nous habite
à chaque fleur que l'on voit,
à chaque coucher de soleil,
que tu aimais tant*

*Merci infiniment Robert,
pour les défis relevés,
la complicité et les rires,
la découverte de l'Amazonie,
et le soutien jusqu'au bout...*

Robert Davidson
Chercheur au Biodôme de Montréal
Professeur associé à l'UQAM
(1958-2016)



*À mes parents,
qui m'ont montré la valeur
de l'amour et de l'altruisme,
du respect et de l'humanisme*

*Aux paysans amazoniens,
pour les échanges et partages,
et pour leur courage inspirant*

*« D'abord, je croyais que je me battais pour sauver les arbres,
puis, je croyais me battre pour sauver la forêt amazonienne,
mais aujourd'hui, je réalise que je lutte pour l'humanité. »*

– Chico Mendes (1944-1988)

REMERCIEMENTS

Il est difficile de savoir par où commencer pour remercier tous les gens qui m'ont soutenue pendant le long parcours qui a mené à cette thèse. Je remercie d'abord mes deux co-directeurs de recherche, Robert Davidson et Marc Lucotte, de m'avoir permis de vivre cette grande aventure qui m'a profondément transformée. Votre engagement dans mon projet et dans mon cheminement a été d'une immense valeur.

Robert, tu nous as quitté avant le dépôt final de cette thèse, mais ta force de vivre et ton courage ont été pour moi une véritable inspiration pour terminer ce grand travail malgré l'épreuve de ton départ. Je te serai toujours reconnaissante pour ton humanisme et ta générosité constante depuis toutes ces années. Je me sens tellement honorée et fière d'avoir réalisé avec toi ce projet de plantations qui te tenait tant à coeur. Tu m'avais promis que tu serais là jusqu'au bout... alors je garde donc tes conseils, ta complicité et tes éclats de rire bien vivants dans ma mémoire, ils continueront à m'accompagner.

Marc, je te remercie de m'avoir ouvert la porte pour me joindre à ton équipe et de m'avoir permis de m'initier à l'univers de la recherche à l'international. J'étais loin de me douter à quel point j'en sortirais riche et accomplie. Merci pour tes conseils et ta science, j'aurai énormément appris à travers nos multiples échanges. Tes encouragements et ta compréhension en cette fin de parcours ont été très précieux.

J'envoie toute ma gratitude aux communautés amazoniennes qui ont participé au projet *Poor Land Use, Poor Health*, sans qui mon étude n'aurait pas pu exister. Je suis extrêmement choyée d'avoir pu m'immerger dans ce merveilleux coin de pays qu'est le Tapajós durant mes nombreux terrains, et d'avoir fait ces rencontres

exceptionnelles avec ces gens si généreux et accueillants. L'image de la Boca-Araipá restera toujours gravée dans mon cœur. J'ai tant souvenirs de ces moments passés dans les champs et en forêt dans l'air tropical humide, des couchers de soleil sur le toit du bateau, des échanges avec les agriculteurs, et surtout, du dernier séjour sur le terrain avec mes béquilles... Merci à toutes les familles qui se sont engagées dans le projet de plantations, ainsi qu'à toutes les personnes en Amazonie qui nous ont fait confiance et qui ont mis la main à la pâte, malgré l'inconnu. Tout mon estime pour ces gens d'une force incroyable, qui ont tant à nous apprendre.

Je salue l'Initiative de recherche en santé mondiale (IRSM), le Centre de recherches pour le développement international (CRDI), l'Agence canadienne de développement international (ACDI), Santé Canada, le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), le Fonds de recherche du Québec – Nature et technologies (FQRNT), COPEH-Can et LOJIQ pour leur soutien financier. Merci aussi à l'Institut des sciences de l'environnement de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), au GEOTOP et au Biodôme de Montréal.

Un merci très spécial à mes collègues et amis du PLUPH, en particulier à Sky Oestreich, Stéphane Tremblay et Leandra Fatorelli, je me sens privilégiée d'avoir vécu cette aventure avec vous. Merci pour les innombrables partages et défis surmontés ensemble, au Québec comme au Brésil. Remerciements sincères à Frédéric Mertens et à Johanne Saint-Charles pour le soutien et pour les nombreux bons conseils, que j'ai à cœur de mettre à profit dans mes futurs projets. Merci à Marion Quartier, ton aide et ton optimisme m'ont été très précieuses lors de ce fameux dernier terrain en béquilles. Merci à Émilie Bélanger pour ton bon cœur et les fous rires, et à Anderson, meu *irmão* do sul. Merci à Juliana, Deusilene, Lígia, Angela, Natacha, Christine, Aline, Benjamin, Christine, Danielly, Geovania et à tous les autres. Également merci aux chercheurs de l'équipe, en particulier à Christina Romana, Jean Rémy Guimarães, Raimundo Cosme de Oliveira Jr. et Carlos Passos.

Grands remerciements à Claire Vasseur et Serge Paquet, de même qu'à Antony Zonato et Frédérik Toupin pour votre soutien essentiel à différentes étapes de cette étude, ainsi qu'à Sophie Chen, Agnieszka Adamovick et aux assistants et stagiaires de laboratoire. Merci à tous les aides de terrain qui ont contribué à la réalisation de ce projet, que ce soit à travers les nombreuses collectes de données biophysiques (José, Omar, Anderson, Giovania, Danielly, Albetiza) ou sociales (Andreza, Wyncla, Marcelo, Silmara, Deizi, Flavio). Toute ma gratitude aux équipages des bateaux de recherche (et à nos merveilleuses cuisinières !) pour votre dévouement sur le terrain.

Mes plus profonds remerciements vont à mes parents, qui m'ont montré un appui inconditionnel à chaque instant, du début à la fin. Je ne trouve pas les mots pour exprimer ma reconnaissance pour votre soutien incomparable, votre rare bonté, votre compréhension et vos encouragements constants. Malgré mon peu de disponibilité au cours de ces dernières années, j'ai toujours senti votre présence à mes côtés. Je suis fière des valeurs et de la passion que vous m'avez transmises, vous êtes pour moi une grande source d'inspiration. Un merci spécial à ma grande sœur qui est très précieuse à mon cœur, à mes chers frères Martin et Simon, à Nathalie et Mélissa, chacun(e) de vous est important(e) à mes yeux. Sans oublier, bien sûr, mes remerciements à nos petits soleils qui grandissent, à ma filleule Jacinthe, et à Marguerite, Fannie et Samuel, pour toutes les fois où vous avez illuminé mes journées.

Enfin, comment pourrais-je remercier assez celui qui m'a soutenue au quotidien durant toutes ces années ? S'il y a bien quelqu'un grâce à qui j'ai pu me rendre jusqu'au bout, c'est certainement toi, Anit. Ta présence, ta patience, ta compréhension et ton soutien ont été inestimables tout au long de ce cheminement. Merci de m'accompagner dans les périples de la vie, à travers ses hauts et ses bas, et malgré la longue rédaction et les séjours prolongés en Amazonie. Quel privilège d'avoir eu la chance d'écrire cette thèse sur un fond de violon... Merci pour tout ce que tu apportes dans ma vie, tu es très précieux pour moi.

Je tiens aussi à remercier les nombreuses autres personnes qui ont contribué à enrichir ma vie au cours de mes années passées au doctorat. Mes amis, chacun à votre manière, vous m'avez apporté rires, discussions, évasions, réconfort : Geneviève Gallerand, Guénolé Choné, Katlheen McMeekin, Alexandre Crombez, Christian, Carlos et Claudio Cornejo, Rolando Labraña, René Marquez et tout le beau groupe latino-québécois. Lys et Jackson, Roberto, Mamadou, Erika et les autres avec qui j'ai partagé tant de moments de danse et d'amitié. Amélie Gamache, Adrien Glasser et les colocos des rues Rivard et Lajeunesse. Merci aux artistes, particulièrement à la Gypsy Kumbia Orchestra et Ayrad, André Désilets et le Skatton Club, et à tous les autres qui mettent de la musique dans ma vie, la danse est le meilleur des exutoires... Merci à Anita Lassonde et Jean-Claude Bélanger pour votre amitié, et à tous autres du milieu trad qui font vivre l'âme du folklore québécois. Merci aux participants d'ÉcoMaris et à tous les varzéains pour les moments forts passés en votre compagnie en Amazonie (plus particulièrement à Laurent, Charles, Catherine, Sébastien, Samuel, Marie-Anne, Stéphanie, Nicolas, Marie, Johanna et Léa). Merci à tout le collectif d'organisation du Forum social mondial 2016 pour les partages, les apprentissages et l'utopisme réaliste... « *Un autre monde est nécessaire... Ensemble, il devient possible !* ». Un merci spécial à Carminda et Ons, Samuel R., Sarah, Katina, Ludovic et Étienne pour la solidarité. Merci aussi à Ardhendu et Jocelyne Ghosh, à Julie Renaud, Evelyne Boisvert-Beauregard, Inês Lopes, Jean Ouanani, Marie Saintonge, Myriam Fillion, Mélanie Lemire, Geneviève Nadeau et Jean-François Villeneuve pour les encouragements. Remerciements également à Leandra, Yussef, Luzia, Izaias, Rafael et Veronica pour votre aide avec la révision du portugais, à Maya Bush et Anit Ghosh pour la révision de l'anglais, et à Jules Béliveau pour les conseils de français.

Il y aurait encore tant de gens à nommer... À tous les autres qui m'avez accompagnée d'une manière ou d'une autre pendant ce long périple, tout simplement : *MERCI !*

AVANT-PROPOS

Cette thèse est l'aboutissement d'un long projet de recherche qui a commencé en 2008. Elle s'inscrit dans le cadre du projet *Poor Land Use, Poor Health* (PLUPH) et dans la lignée de plus de 20 ans de recherche menée par une équipe internationale incluant des chercheurs de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et du Biodôme de Montréal, du Brésil et de l'Europe, en collaboration avec des populations rurales de la région du Tapajós, en Amazonie brésilienne. La présente thèse vise à évaluer la viabilité environnementale et sociale d'un projet d'intervention en agroécologie mis en œuvre dans les communautés rurales participant au projet PLUPH. À l'image des travaux effectués depuis les années 90 dans la région d'étude, mes champs d'intérêt et mes objectifs de recherche ont évolué tout au long de mon parcours de plus de sept ans au doctorat. Ces réajustements d'objectifs, d'orientations et de méthodes, tantôt enrichissants, tantôt difficiles, ont été le reflet d'une compréhension chaque jour plus profonde de la réalité complexe entourant l'implantation d'un projet d'intervention dans des communautés vivant en mode de subsistance. Cette évolution a également reflété mon respect grandissant pour les populations amazoniennes m'ayant permis de réaliser cette étude et ma volonté d'intégrer dans ma thèse des éléments correspondant davantage à la réalité et aux préoccupations des familles participantes. Il est toutefois apparu évident en cours de parcours que l'ensemble des considérations entourant la viabilité d'un tel projet d'intervention étaient trop vastes et complexes pour être abordés dans une seule thèse. Il a donc été nécessaire de faire un choix et quatre aspects principaux ont donc été approfondis. Ceux-ci constituent les quatre chapitres de cette thèse, écrits sous forme d'articles qui seront soumis dans des revues scientifiques.

Le premier chapitre (article 1) constitue une évaluation du succès des systèmes expérimentaux implantés au cours de l'intervention, par une analyse comparative de la survie, de la croissance et de la nutrition des espèces plantées. Le deuxième chapitre (article 2) est étroitement lié au précédent et met en lumière les facteurs biophysiques et humains ayant influencé le développement des plantations. Ces deux articles seront proposés respectivement aux revues *Agroforestry systems* et *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Le troisième chapitre (article 3) s'intéresse quant à lui à l'efficacité des plantations agroforestières pour contribuer à la réduction de l'érosion et, par conséquent, à limiter la libération du Hg des sols. Cet article sera soumis au *Journal of Environmental Management*. Enfin, le dernier chapitre (article 4) explore le processus d'appropriation du projet par les participants ainsi que les aspects humains entourant la pérennité de l'intervention.

Tout au long de ce projet, l'approche interdisciplinaire et participative privilégiée a amené de nombreux défis, autant lors de la mise en œuvre de l'intervention, de la réalisation des terrains que de l'analyse des données et la rédaction des articles. Mais indéniablement, au-delà des connaissances scientifiques découlant de cette étude, la richesse d'un tel projet dépasse largement les pages du présent ouvrage. Des apprentissages immesurables liés à nécessité de concilier les principes de la recherche et les nombreuses contraintes logistiques, tout en tenant compte des visions et des priorités des populations participantes, sont difficiles à transmettre dans une thèse. À l'issue de cette expérience, j'ai développé de riches compétences en recherche-action et en intervention, et je ressors surtout de ce long projet forte d'une capacité à travailler en collaboration avec des gens de différentes origines et mœurs, et dans un environnement souvent hostile où la flexibilité et l'adaptation, la patience, l'ouverture, la persévérance et la polyvalence sont essentielles. J'ai maintenant dans mes bagages des tonnes de souvenirs inoubliables, et surtout, une profonde passion pour l'Amazonie et ses habitants, ainsi qu'une immense détermination à poursuivre mon travail pour un monde meilleur, de quelque manière que ce soit.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	VII
AVANT-PROPOS	XI
TABLE DES MATIÈRES	XV
LISTE DES FIGURES	XXIII
LISTE DES TABLEAUX.....	XXVII
LISTE D'ABRÉVIATIONS.....	XXIX
LISTE DES SYMBOLES.....	XXXI
RÉSUMÉ	XXXIII
ABSTRACT.....	XXXVII
RESUMO.....	XLI
 INTRODUCTION	 1
0.1. Problématique	1
0.1.1. Relations entre usage de la terre et santé humaine.....	2
a) Érosion des sols et exposition au Hg	2
b) Ouverture du paysage et maladie de Chagas	3
0.1.2. L'agroécologie comme alternative à l'agriculture sur brûlis	4
0.2. Historique et contexte de la recherche	6
0.3. Région d'étude	8
0.4. Présentation du projet d'intervention	12
0.4.1. Processus de sélection des villages, des participantes et des sites	13
a) Choix des communautés et des familles participantes	13
b) Sélection des sites.....	14
0.4.2. Conception des systèmes implantés	14

a) Types de systèmes	15
b) Composition et structure des systèmes.....	17
0.4.3. Implantation des systèmes.....	19
0.5. Objectifs de la thèse	21
0.6. Structure de la thèse	22
I.6.1. Présentation des chapitres	22
0.6.2. Présentation des annexes	24
0.7. Approche de recherche.....	25
0.7.1. Collaborations	25
0.7.2. Méthodes de collectes et d'analyses de données.....	28
a) Types de données collectées.....	28
b) Analyses et traitement de données	34
0.7.3. Retour des résultats aux communautés	37
0.8. Références	40
CHAPITRE I.....	47
PLANT SURVIVAL, GROWTH AND NUTRITIONAL REQUIREMENTS OF AGROFORESTRY SYSTEMS IMPLEMENTED IN FAMILY FARMS OF THE BRAZILIAN AMAZON.....	47
Abstract.....	49
Résumé.....	50
Resumo.....	51
1. Introduction	53
2. Methods.....	54
2.1. Study region	54
2.2. Agroforestry system implementation	56
2.2.1. Plantation site selection	56
2.2.2. Plantation design.....	57
2.2.3. System implementation and maintenance.....	60
2.3. Data collection.....	61

2.3.1. Soil sampling	61
2.3.2. Plant measurements and sampling	62
2.3.3. Laboratory analyses	63
2.3.4. Data analyses	65
3. Results	66
3.1. Initial soil properties in plantation areas	66
3.2. Indicators of agroforestry system success	69
3.2.1. Plant survival and growth after the first year	69
3.2.2. Plantation development over 4 years	71
3.3. Foliar nutrient content in studied species and sites	76
3.4. Relationships between soils and plant development	78
4. Discussion	79
4.1. Variable success among selected species	79
4.1.1. Distinct survival and growth patterns	79
4.1.2. Species-specific nutritional requirements	80
4.1.3. Plant-specific adaptation to micro-nutrients (Mn, Al and Fe)	82
4.2. Limited effect of edaphic variations on plant development	83
5. Species adaptation in the context of family farming : Recommendations and conclusions	85
Acknowledgments	89
References	90
CHAPITRE II	105
BIOPHYSICAL AND HUMAN FACTORS INFLUENCING THE DEVELOPMENT OF AGROFORESTRY SYSTEMS IN FAMILY FARMS OF THE AMAZON (BRAZIL)	105
Abstract	107
Résumé	108
Resumo	109
1. Introduction	111

2. Methods.....	112
2.1. Study area	112
2.2. Agroforestry system design and implementation	114
2.3. Data collection and analyses	117
3. Results	118
3.1. Biophysical factors influencing plantation development	120
3.1.1. Edaphic factors	120
3.1.2. Biotic factors	120
3.1.3. Climatic conditions	121
3.1.4. Plant-related factors	121
3.2. Human factors	125
3.2.1. Site preparation and system implementation	125
3.2.2. Plantation maintenance	125
4. Discussion	126
4.1. Strong influence of environmental conditions on plantation success	126
4.2. Importance of implementation process and site maintenance	131
4.3. Socioeconomic constraints and regional context	133
5. Conclusions	134
Acknowledgments	136
References	137
 CHAPITRE III	 151
REDUCTION OF SOIL EROSION AND MERCURY LOSSES IN AGROFORESTRY SYSTEMS COMPARED TO CULTIVATED FIELDS IN THE BRAZILIAN AMAZON	 151
Abstract	153
Résumé	154
Resumo	155
1. Introduction	157
2. Methods	159

2.1. Study region	159
2.2. Site description and soil erosion settings	160
2.3. Data collection.....	162
a) Pluviometry measurements.....	162
b) Surface runoff water and eroded soil particles sampling	163
b) Soil sampling	163
2.4. Laboratory analyses.....	164
a) Soil.....	164
b) Eroded soil particles	165
2.5. Data analyses.....	165
a) Rain event characterization.....	165
b) Soil characteristics.....	166
c) Soil erosion indicators	166
3. Results.....	167
3.1. Rain events	167
3.2. Soil properties.....	168
3.2. Runoff and soil erosion	171
3.2.1. Relationships between erosion indicators, rain events and site characteristics.....	171
3.2.2. Influence of rain events variability on soil erosion indicators	172
3.2.3. Relationships between soil erosion indicators and land cover and slope	174
4. Discussion	177
4.1. Role of land use on soil erosion and soil surface properties	177
4.1.1. Reduced soil erosion and Hg weathering in agroforestry systems .	178
4.1.2. Contrasted impacts of land uses on soil fertility.....	179
4.2. Groundcover controlling soil erosion in young agroforestry systems	180
4.3. Secondary importance of pluviometry	182
5. Conclusion	183

Acknowledgments	184
References	185
CHAPITRE IV.....	193
PERCEPTIONS, SAVOIRS ET PÉRENNITÉ D'UN PROJET D'AGROÉCOLOGIE PRENANT PLACE DANS DES COMMUNAUTÉS RURALES DE L'AMAZONIE.....	193
Résumé.....	195
Resumo.....	196
Abstract	197
1. Introduction.....	199
2. Méthodes.....	201
2.1. Région d'étude	201
2.2. Communautés participantes	202
2.3. Présentation du projet d'agroécologie étudié	204
2.3. Collectes et analyses des données	206
3. Résultats	208
3.1. Perceptions des pratiques agricoles et de l'intervention	208
3.1.1. Bénéfices de l'agroécologie et de l'agriculture de cycle court.....	208
3.1.2. Retombées du projet	210
3.2. Processus d'implantation du projet : défis et opportunités.....	214
3.2.1. Choix des communautés	214
3.2.2. Sélection des participants et des sites	215
3.2.3. Conception des plantations	217
3.2.4. Implantation des systèmes expérimentaux	218
3.3. Contraintes socioéconomiques et contexte régional	219
4. Discussion	221
4.1. La prise en compte des perceptions locales	221
4.2. Le partage des pouvoirs entre les différents acteurs	223
4.3. L'intégration des savoirs complémentaires	225

5. Conclusion	227
Remerciements	228
Références	229
CHAPITRE V	237
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	237
5.1. Principales conclusions de la thèse	238
5.2. Forces et limites de l'étude	241
5.3. Orientations pour favoriser le succès et la pérennité des projets	243
5.4. Dernières considérations	245
ANNEXES	249
ANNEXE A	251
PHOTOS DES COMMUNAUNAUTÉS PARTICIPANTES	251
ANNEXE B	255
APERÇU DES SYSTÈMES IMPLANTÉS	255
ANNEXE C	259
PHOTOS DES SYSTÈMES IMPLANTÉS	259
C.1. Implantation et développement des systèmes.....	260
C.2. Espèces plantées	269
ANNEXE D	275
PHOTOS DES ACTIVITÉS D'ÉCHANTILLONNAGE	275
D.1. Collectes de données quantitatives.....	276
D.2. Collectes de données qualitatives.....	279
ANNEXE E.....	283
MATÉRIEL DE COLLECTE DE DONNÉES SOCIALES	283
E.1. Questionnaire complet appliqué en 2011	284
E.2. Guide d'entretien (pour entrevues réalisées en 2012)	331
E.3. Entretien semi-dirigé réalisé avec les participants à l'intervention en 2012	333

ANNEXE F	341
PHOTOS DES ACTIVITÉS DE RETOUR AUX COMMUNAUTÉS	341
ANNEXE G	345
BANDE DESSINÉE ÉDUCATIVE DESTINÉE AUX COMMUNAUTÉS AMAZONIENNES.....	345
BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE.....	371

LISTE DES FIGURES

Fig. 0.1. Le cycle du Hg.....	3
Fig. 0.2. Le cycle de Chagas.....	4
Fig. 0.3. La région d'étude.....	9
Fig. 0.4. Design de l'intervention.....	12
Fig. 0.5. Types de systèmes expérimentaux étudiés	16
Fig. 0.6. Parcelles implantées	20
Fig. 0.7. Schéma résumant les collectes de sols et de matière végétale.....	30
Fig. 0.8. Schéma illustrant le dispositif de collecte d'érosion	31
Fig. 1.1. Map of the study region	55
Fig. 1.2. Evolution of mean species mortality over 4 years for each site.....	72
Fig. 1.3. Evolution of mean species growth during 4 years for both systems	73
Fig. 1.4. Inter-species comparison of foliar cation contents for both plantations	77
Fig. 2.1. Map of the study region.....	113
Fig. 2.2. Impact of initial seedling size on 4-year plant survival rates.....	122
Fig. 2.3. Survival rate variation according to plantation margin proximity.....	124
Fig. 3.1. Map of the study region.....	159
Fig. 3.2. Surface runoff associated to each rain event.....	172
Fig. 3.3. Mean surface runoff in studied sites and slopes	174
Fig. 3.4. Mean soil particle loss in studied sites and slopes	175
Fig. 3.5. Soil Hg loss in studied sites and slopes.....	176
Fig 3.6. Total soil CaMgK loss in studied sites and slopes.....	177
Fig. 4.1. La région d'étude : le moyen Tapajós.....	201
Fig. 4.2. Caractéristiques générales des communautés participantes.....	203
Fig. 5.1. Schéma résumant les principales conclusions de l'étude.....	241

Fig. 5.2. Dimensions sociale, environnementale et économique de la durabilité des projets d'intervention.....	243
A. a) Photos de la communauté d'Araipá.....	252
A. b) Photos de la communauté de São Tomé.....	253
A. c) Photos de la communauté de Nova Estrela.....	254
B. a) Portion du plan du consortium fruitier (CF)	256
B. b) Portion du plan du système multi-usages (MU)	257
B. c) Exemples de systèmes Bragantin (BR)	258
C.1. a) Photos de la conception des systèmes.....	260-262
C.1. b) Photos de la préparation et transport des semis.....	263
C.1. c) Photos de la préparation des sites.....	264
C.1. d) Plantation des espèces sélectionnées.....	265
C.1. e) Photos de l'application d'engrais vert.....	266
C.1. f) Photos d'un système agroforestier de 2 ans.....	267
C.1. g) Photo d'un système agroforestier de 5 ans.....	268
C.1. h) Photo d'un système agroforestier de 6 ans.....	268
C.2. a) Photo d'une noix du Brésil de 2 ans.....	269
C.2. b) Photo d'un andiroba de 6 ans.....	269
C.2. c) Photo d'un manguier récemment planté.....	269
C.2. d) Photo d'un oranger de 6 ans.....	269
C.2. e) Photos de plants d'ananas.....	270
C.2. f) Photo d'un corossolier.....	270
C.2. g) Photo d'un acérولا.....	271
C.2. h) Photo d'un palmier d'açai de 1 an.....	271
C.2. i) Photo d'un araza récemment planté.....	272
C.2. j) Photo d'un araza de 3 ans.....	272
C.2. k) Photo du fruit de l'araza.....	272
C.2. l) Photo d'un bananier récemment planté.....	273
C.2. m) Photo de bananiers d'un an et demi.....	273

D.1. a) Photos des collectes de sols.....	276
D.1. b) Photo des mesures de la survie et de la croissance des plantes.....	277
D.1. c) Photo d'une collecte d'eau de ruissellement dans un système agroforestier...	277
D.1. d) Photo du dispositif d'étude de l'érosion dans un système agro-forestier.....	278
D.1. e) Photo d'une collecte d'eau de ruissellement dans un champ de cycle court...	278
D.2. a) Photo de l'application d'un questionnaire.....	279
D.2. b) Photos d'outils de collecte de données sociales.....	279
D.2. c) Photos de groupes de discussion avec les communautés participantes....	280-281
F. a) Photos de réunions communautaires de retour aux communautés.....	342
F. b) Photo d'une marche éducative dans les plantations.....	343
F. c) Photo d'un atelier participatif avec présentation de la bande dessinée éducative.....	343

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 0.1. Caractéristiques des communautés d'études.....	11
Tableau 0.2. Espèces sélectionnées pour systèmes CF et MU.....	18
Tableau 0.3. Types de données collectées.....	29
Tableau 0.4. Entrevues réalisées dans les communautés participantes.....	32
Tableau 0.5. Taux de participation aux groupes de discussion.....	33
Tableau 0.6. Variables biophysiques analysées pour les chapitres 1 à 3.....	34
Tableau 0.7. Méthodes d'analyses des sols et des sédiments.....	35
Tableau 0.8. Indicateurs d'érosion.....	36
Table 1.1. Orchard fruit tree (OF) and multi-purpose tree (MP) system composition.	59
Table 1.2. Initial soil physicochemical properties at implementation of agroforestry systems.....	67
Table 1.3. Mean 1-year survival and growth in orchard fruit tree (OF) and multi-purpose tree (MP) systems.....	70
Table 1.4. Mean survival and growth after 4 years.....	75
Table 1.5. Advantages and disadvantages of selected species for plant consortiums...	86
Table 2.1. Orchard fruit tree (OF) and multi-purpose tree (MP) system composition.	115
Table 2.2. Factors affecting plantation development.....	119
Table 3.1. Studied sites characteristics.....	161
Table 3.2. Rain events	168
Table 3.3. Soil physicochemical properties at each sampling site.....	170
Table 3.4. Correlations between sites, rain events and soil erosion indicators.....	171
Tableau 4.1. Entrevues réalisées dans les communautés participantes.....	206
Tableau 4.2. Bénéfices perçus de l'agroforesterie et de l'agriculture de cycle court.	209

LISTE D'ABRÉVIATIONS

De nombreuses abréviations sont utilisées tout au long de cette thèse. Une liste de ces abréviations est fournie ci-dessous afin de faciliter la lecture. Pour les termes anglais, les abréviations et termes français correspondants sont également précisés entre parenthèses.

AFS	Agroforestry system (anglais pour système agroforestier – SAF)
An	Andiroba (andiroba)
Ap	Acai palm (palmier açai)
Bc	Barbados cherry (acérola)
BD	Plant basal diameter (diamètre basal)
BDG	Plant basal diameter growth (croissance en diamètre basal)
Bn	Brazil nut (noix du Brésil)
BR	Système Bragantin
CA	Correspondence analyses
CF	Consortium fruitier
Embrapa	<i>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária</i>
F	Forest (forêt)
Ha	Hectare
Hg	Mercure
Ib	Ice cream bean (pois doux)
IET	Inter-event time (période sans pluie entre deux évènements de pluie)
M	Mixed-origin community (communauté d'origine mixte)
Ma	Mango (mangue)
MIT	Minimum inter-event time (période min. sans pluie entre deux évèn.)

MP	Multi-purpose tree system (anglais pour système multi-usages – MU)
MU	Système multi-usages (français pour multi-purpose tree system – MP)
NA	Not analyzed
NPK	Engrais (azote, phosphore, potassium)
OF	Orchard fruit tree plantations (anglais pour consortium fruitier – CF)
Ot	Orange tree (oranger)
Pa	Pineapple (ananas)
PLUPH	Projet <i>Poor Land Use, Poor Health</i>
PPT	Précipitations
Pf	Particules fines (de sol)
Pg	Particules grossières (de sol)
Pt	Plantain (plantain)
R	Communauté récente
SAE	Système agroécologique
SAF	Système agroforestier
SCC	Short cycle cropping system (anglais pour système de cycle court)
SD	Standard deviation
SE	Standard error
<i>Sp.</i>	Espèce
Ss	Soursop (corossol)
T	Traditional community (communauté traditionnelle)
TH	Plant total height (hauteur totale)
THG	Plant total height growth (croissance en hauteur totale)
UQAM	Université du Québec à Montréal

LISTE DES SYMBOLES

Al	Aluminium
Al _{cdb}	Aluminium citrate-dithionate-bicarbonate
Ca	Calcium
CaMgK	Somme des cations basiques (calcium, magnésium et potassium)
Fe	Fer
Fe _{cdb}	Fer citrate-dithionate-bicarbonate
Hg	Mercure
Hg-pf	Concentration de mercure sur les particules fines du sol
Hg-pc	Concentration de mercure sur les particules grossières du sol
K	Potassium
Mg	Magnésium
Mn	Manganèse
P	Phosphore
P _{apa}	Phosphore apatite
P _{cdb}	Phosphore citrate-dithionate-bicarbonate
P _{ex}	Phosphore échangeable
Pf	Particules fines de sol
Pg	Particules grossières de sol
P _{org}	Phosphore organique

RÉSUMÉ

Dans les régions rurales de l'Amazonie brésilienne, l'augmentation de la présence humaine s'accompagne d'une intensification du déboisement pour des fins agricoles, causant la dégradation des sols et des cours d'eau. L'agriculture traditionnelle sur brûlis a aussi des impacts sur la santé humaine, étant notamment associée à l'exposition au mercure (Hg) et à la maladie de Chagas, deux problèmes de santé environnementale affectant la qualité de vie des populations. Dans ce contexte et dans le cadre du projet *Poor Land Use, Poor Health* (PLUPH) – s'intéressant aux relations entre usage de la terre et santé humaine –, des systèmes agroécologiques ont été implantés *in situ* dans des fermes familiales locales afin d'expérimenter si ce modèle d'agriculture alternatif peut contribuer à limiter la mobilité du Hg naturel des sols et constituer une barrière biologique à la dispersion des triatomines causant la maladie de Chagas, tout en procurant des bénéfices alimentaires et économiques pour les participants. S'insérant dans ce vaste projet, la présente thèse vise à évaluer si de tels systèmes constituent une alternative prometteuse aux cultures sur brûlis pour les populations locales, d'un point de vue environnemental et social.

L'intervention étudiée prend place dans trois villages de la région du Tapajós, dans l'État du Pará au Brésil. Les systèmes expérimentaux étudiés ont été conçus sur la base des considérations scientifiques et techniques (caractéristiques culturelles et nutritionnelles des espèces, disponibilité des semences, etc.) ainsi que sur les perceptions des communautés locales (intérêt général, marché, etc.). Trois types de systèmes agroécologiques représentant un gradient de complexité structurel et de composition ont été conçus : i) le système Bragantin (BR)¹, composé de plantes de cycle court couramment cultivées par les agriculteurs de la région (manioc, riz, fèves et maïs) plantées en alternance ; ii) le consortium fruitier (CF), un système composé d'espèces fruitières et de plantes de cycle court, et (iii) le système multi-usages (MU), un système agroforestier plus complexe comprenant un mélange de plantes de cycle court, d'arbres fruitiers et d'espèces sylvoicoles. Pour les deux derniers systèmes, des plantes indigènes de l'Amazonie (açai, andiroba, noix du Brésil, araza, corossol, pois doux et ananas) et d'espèces exotiques (mangue, orange, acérola et plantain) ont été sélectionnées.

¹Le système Bragantin (BR) n'a pas été étudié dans le cadre de la présente thèse, qui s'intéresse plus particulièrement aux systèmes permanents impliquant la présence d'arbres. Les systèmes BR ont toutefois été considérés dans le dernier chapitre de la thèse, explorant les perceptions des participants quant au projet et les processus entourant l'appropriation de telles interventions.

Ces trois types de systèmes sont permanents et sont basés sur un usage réduit du brûlis, et sont également entourés d'une bordure de légumineuses pouvant servir d'engrais vert, ce qui les distingue du type d'agriculture généralement pratiqué dans les fermes familiales de l'Amazonie. Les systèmes ont été implantés en 2009-2010 avec la collaboration des familles participantes.

Parmi les espèces sélectionnées, l'andiroba et la noix du Brésil sont les mieux adaptées aux conditions locales et sont les plus recommandées pour des projets implantés dans des conditions similaires à celle de la présente étude. L'araza est également recommandable en raison de sa faible exigence de nutriments, alors que les acérolas et les orangers ont quant à eux des exigences supérieures et devraient être plantés de préférence sur des sols plus riches. Le faible taux de survie de l'açaï et du corossolier indique toutefois que ces espèces sont davantage vulnérables et nécessitent des conditions favorables et un suivi régulier. Le projet étudié montre que le succès de systèmes agroécologiques implantés en contexte rudimentaire est influencé davantage par les facteurs climatiques, biotiques et humains que par les conditions édaphiques. Plus particulièrement, les faibles précipitations ont nui aux açaïs et aux orangers, les invasions de fourmis coupeuses de feuilles et de perceurs ont eu des impacts respectifs sur les manguiers et les corossoliers, alors que les productions d'ananas, de plantains et de pois doux ont été affectées par l'intrusion d'animaux sauvages et de bétail. Enfin, la préparation initiale et le maintien des sites ont également une influence majeure pour le succès des plantations.

Les résultats valident l'efficacité des systèmes agroforestiers pour limiter la mobilité du Hg des sols, confirmant l'intérêt de ce type d'agriculture dans les régions les plus affectées par l'érosion. Les pertes de sol, de Hg et de cations mesurées dans un jeune système agroforestier se rapprochent de celles des forêts naturelles, alors que des niveaux d'érosion largement supérieurs sont observés dans le champ de cycle court. Cette réduction de l'érosion résulte principalement de l'effet protecteur de la couverture végétale du sol, et également de la présence de racines en développement.

Les aspects humains (perceptions, savoirs, réalité socioéconomique, etc.) ont une importance cruciale quant à l'appropriation de projets d'intervention par les communautés participantes. Par exemple, cette étude révèle que les bénéfices des systèmes agroécologiques sont pour les participants de nature alimentaire et économique, ce qui contraste avec les avantages mis de l'avant par le projet (c.-à-d. la santé environnementale), plutôt intangibles et moins prioritaires pour les populations locales. Pour les participants, l'apprentissage de nouvelles techniques (ex : préparation des semis, fertilisation, etc.) ainsi que la familiarisation avec des nouveaux produits et la rencontre avec l'équipe de recherche sont les principales retombées positives du projet. Or, les contraintes économiques, les priorités de santé, le peu de perspective de vente des produits, de même que des défis méthodologiques, logistiques et de communication ont toutefois un impact sur la mobilisation des participants. Cette étude

réitère l'importance de l'intégration des perceptions locales, du partage des pouvoirs ainsi que de la prise en compte des savoirs complémentaires pour la réussite et la pérennité de tels projets d'intervention.

Cette thèse offre un regard interdisciplinaire et écosystémique sur les défis et opportunités entourant la mise en œuvre et la pérennité de systèmes agroécologiques implantés *in situ* dans des fermes familiales de Amazonie rurale. Faisant ressortir la complexité des aspects biophysiques, socioéconomiques, historiques, culturels et politiques influençant l'adoption de telles pratiques dans un contexte de subsistance, cette étude confirme l'importance des projets visant à soutenir les agriculteurs familiaux dans leurs efforts vers des types d'agriculture complémentaires pouvant contribuer à réduire leur dépendance au brûlis. Cette thèse met également en lumière les réalités contrastées de la recherche et des communautés locales, de même que les contraintes limitant la réalisation de projets de recherche-action adaptés aux conditions locales et répondant aux besoins des populations. Réitérant la pertinence des approches interdisciplinaires et participatives dans la recherche, cette thèse rappelle la nécessité de repenser les modes de fonctionnement stratégique et de financement des projets afin de faciliter la conception et la mise en place d'interventions correspondant pleinement aux réalités et aux priorités des participants, et qui seront par conséquent plus viables sur les plans social et environnemental.

Mots-clés :

Agroforesterie, systèmes agroforestiers, pratiques agricoles, recherche-action, mercure des sols, érosion, facteurs affectant la croissance, perceptions, Amazonie.

ABSTRACT

In rural regions of the Brazilian Amazon, increasing human population is accompanied by intensified deforestation for agricultural purposes, causing degradation of land and aquatic ecosystems. Traditional slash-and-burn agriculture also has impacts on human health, notably exposure to mercury (Hg) and Chagas disease, two environmental health problems affecting the quality of life of local populations. In this context and in the framework of the *Poor Land Use, Poor Health* (PLUPH) project – concerned with the relationships between land use and human health –, agroecological systems were established *in situ* in local family farms to test whether this model of alternative agriculture can contribute to limiting the mobility of natural Hg in soils and to reducing the dispersal of triatomines causing the Chagas disease, whilst providing health and economic benefits for participants. As a part of this project, this thesis aims to evaluate whether such systems constitute a promising alternative to slash-and-burn agriculture for local populations, from an environmental and social point of view.

The studied intervention took place in three villages of the Tapajós region, in the State of Pará (Brazil). The studied experimental systems were designed on the basis of scientific and technical considerations (cultural and nutritional characteristics of species, availability of seeds, etc.) as well as perceptions of local communities (general interest, market, etc.). Three types of agroecological systems representing a structural and compositional complexity gradient were designed: i) the Bragantin (BR)¹ system, composed of short cycle crops commonly grown by local farmers (cassava, rice, beans and corn) planted in alternation; ii) the orchard fruit tree consortium (OF), a system composed of fruit species and short cycle crops, and (iii) the multi-purpose system (MP), a more complex agroforestry system containing a mix of short cycle crops, fruit trees and silvicultural species. For the two last systems, native plants from the Amazon (acai, andiroba, Brazil nut, araza, soursop, pineapple and ice-cream bean trees) and exotic species (mango, orange, Barbados cherry and plantain trees) were selected. These three types of systems are permanent and are based on the reduced use of slash-and-burn. They are also surrounded by legumes that may be used as green manure, which distinguishes them from the type of agriculture generally practiced in family farms of the Amazon. The systems were implemented in 2009-2010 with the collaboration of participating families.

¹The Bragantin (BR) system was not studied in the present thesis, which is more concerned with permanent systems involving the presence of trees. The BR systems were however considered in the last chapter of the thesis, exploring the perceptions of participants about the project and the processes surrounding the appropriation of such interventions.

Among the selected species, andiroba and Brazil nut are best adapted to local conditions and are the most recommended for projects implemented in conditions similar to those prevailing in this study. Araza is also recommended since it has low nutrient requirements, while Barbados cherry and orange trees should be preferably planted on richer soils. The low survival rates of acai palms and soursop trees indicate that these species are more vulnerable and require favourable conditions and regular monitoring. The studied project shows that the success of agroecological systems established in rudimentary contexts are more influenced by climatic, biotic and human factors than by soil conditions. More specifically, weak and irregular rainfall harmed acai palms and orange trees, invasions by leaf-cutting ants and borers had respective impacts on mango and soursop trees, while the production of pineapple, plantains and ice-cream bean trees were affected by intrusions of wild animals and livestock. Finally, initial site preparation and maintenance also had major influence on plantation outcomes.

The results validate the efficiency of agroforestry systems to limit soil Hg mobility, confirming the interest in this type of agriculture, especially in regions that are vulnerable to erosion. Indeed, soil particle, Hg and cation loss measured in the young agroforestry system were similar to those of natural forests, while significantly higher levels of erosion were observed in the short-cycle cropping system. This reduction of erosion mainly results from the protective effect of groundcover vegetation as well as from the presence of developing roots.

Human aspects (perceptions, knowledge, socioeconomic reality, etc.) hold crucial importance regarding the appropriation of such intervention projects by participating communities. For example, this study reveals that, for most respondents, the benefits of agroforestry are primarily alimentary and economic, contrasting with the studied project orientations, which uses environmental health as a leverage to promote the adoption of agroecological practices. These benefits to human health are rather intangible and hold less priority for local populations. For these participants, learning new techniques (e.g. seedling preparation, fertilization, etc.), familiarization with new products as well as meeting with the research team were the main benefits of the project. However, economic constraints, health priorities, low sale perspectives, as well as methodological, logistic and communication challenges had an impact on the mobilization of participants. This study reiterates the importance of taking in account local perceptions, sharing power, as well as integrating complementary knowledge for the success and sustainability of such intervention projects.

This thesis offers an interdisciplinary and ecosystemic outlook at the challenges and opportunities surrounding the implementation and sustainability of agroecological systems established *in situ* in family farms of the rural Amazon. Showing the complexity of biophysical, socioeconomic, historical, cultural and political aspects influencing the adoption of such practices in a context of subsistence, this study

confirms the importance of intervention projects aiming at supporting family farmers in their efforts towards alternative agriculture in order to reducing their dependence on slash-and-burn. This thesis also highlights the contrasting realities of researchers and participants, as well the constraints limiting the realization of action research projects that are adapted to the regional context and that respond to the needs of the local population. Reiterating the relevance of interdisciplinary and participative approaches in research, this thesis recalls the need to rethink methods of strategic functioning and of financing these projects in order to facilitate the conception and implementation of interventions corresponding fully to the realities and priorities of participants, which would consequently be more socially and environmentally viable.

Key-words:

Agroforestry, agroforestry systems, agricultural practices, action research, soil mercury, erosion, factors influencing plant growth, perceptions, Amazon.

RESUMO

Nas regiões rurais da Amazônia brasileira, o aumento da presença humana está acompanhado de uma intensificação do desmatamento para fins agrícolas, causando a degradação dos solos e dos ecossistemas aquáticos. A agricultura tradicional de corte e queima também impacta a saúde humana, sendo associada especialmente à exposição mercurial (Hg) e à Doença de Chagas, dois problemas de saúde ambiental que afetam a qualidade de vida das populações locais. Neste contexto e no âmbito do projeto *Poor Land Use, Poor Health* (PLUPH) – que investiga as relações entre uso da terra e saúde humana – foram implantados sistemas agroecológicos *in situ*, dentro dos lotes familiares nas comunidades, a fim de avaliar se este modelo de agricultura alternativa pode limitar a mobilidade do Hg natural dos solos e formar uma barreira biológica à dispersão dos triatomíneos (causadores da Doença de Chagas), proporcionando benefícios alimentares e econômicos aos participantes. A presente tese, inserida neste vasto projeto, busca avaliar se tais sistemas agrícolas constituem uma alternativa promissora às práticas de corte e queima das populações locais, sob um ponto de vista ambiental e social.

A intervenção estudada ocorreu em três comunidades na região do Tapajós, no estado do Pará, (Brasil). Os sistemas agrícolas experimentais estudados foram concebidos com base em considerações científicas e técnicas (características culturais e nutricionais das espécies, disponibilidade de sementes, etc.), bem como com base nas percepções das comunidades locais (interesse geral, mercado, etc.). Foram criados três tipos de sistemas agroecológicos, representando um gradiente de complexidade estrutural e de composição: i) o sistema Bragantino (BR)¹, composto por plantas de ciclo curto frequentemente cultivadas pelos agricultores da região (mandioca, arroz, feijão e milho) e plantados em alternância; ii) o consórcio de fruteiras (CF), um sistema composto por espécies frutíferas e por plantas de ciclo curto; e iii) o sistema multiusos (MU), que corresponde a um sistema agroflorestal mais complexo que compreende uma mistura de plantas de ciclo curto, árvores frutíferas e espécies silvícolas.

Para os dois últimos sistemas, plantas nativas da Amazônia (andiobas, castanhas-do-pará, graviroleiras, araçás-boi, palmeiras de açaí, abacaxis e ingás-de-metro) e espécies exóticas (mangueiras, laranjeiras, aceroleiras e bananeiras) foram selecionadas.

¹ O sistema Bragantino (BR) não foi estudado no contexto da presente tese, que se interessa particularmente nos sistemas permanentes, o que implica na presença de árvores. Os sistemas BR, no entanto, foram considerados no último capítulo da tese, que explora as percepções dos participantes quanto ao projeto e os processos entorno da apropriação de tais intervenções.

Estes três tipos de sistemas são permanentes e foram projetados para um uso reduzido de queimas. Os sistemas foram igualmente cercados por uma borda de leguminosas, para servirem de adubo verde, o que os distingue do tipo de agricultura geralmente praticado nos lotes familiares na Amazônia. Os sistemas foram implantados em 2009-2010 com a colaboração das famílias participantes.

Entre as espécies selecionadas, a andiroba e a castanha do Brasil são as mais adequadas às condições locais e são as mais recomendadas para projetos implementados sob condições semelhantes ao do presente estudo. O araquê também é recomendado devido à sua baixa exigência em nutrientes, enquanto a aceroleira e a laranjeira possuem, por sua vez, requisitos mais rigorosos e devem ser plantadas preferencialmente em solos mais ricos. A baixa taxa de sobrevivência da palmeira de açaí e da gravioleira indicam, no entanto, que estas espécies são mais vulneráveis e necessitam de condições favoráveis e acompanhamento regular.

O projeto estudado mostra que o sucesso de sistemas agroecológicos implantados em contextos rudimentares é mais influenciado por fatores climáticos, bióticos e humanos do que pelas condições do solo. Especificamente, as baixas precipitações prejudicaram os açaizeiros e as laranjeiras, as invasões de saúvas e brocas tiveram respectivos impactos nas mangueiras e gravioleiras, enquanto a produção de abacaxi, banana e ingá foram afetadas pela intrusão de animais selvagens e pelo gado. Finalmente, a preparação inicial e a manutenção dos sites também tiveram uma grande influência no sucesso das plantações.

Os resultados validam a eficácia dos sistemas agroflorestais para limitar a mobilidade de Hg do solo, confirmando o valor deste tipo de agricultura em regiões mais afetadas por erosão. As perdas de solo, de Hg e de cátions medidas em um sistema agroflorestal recentemente implementado se aproximam daquelas em florestas naturais, enquanto níveis de erosão muito mais elevados são observados nas áreas de cultivos de ciclo curto. Esta redução de erosão se deve principalmente ao efeito protetor da cobertura vegetal do solo e também pela presença de raízes em desenvolvimento.

Os aspectos humanos (percepções, conhecimentos, realidade socioeconômica, etc.) tem uma importância crucial quanto à apropriação de projetos de intervenção por parte das comunidades participantes. Por exemplo, este estudo mostrou que os benefícios dos sistemas agroecológicos para os participantes são de natureza alimentar e econômica, em contraste com as vantagens apresentadas primeiramente pelo projeto (ou seja, a saúde ambiental) intangíveis e menos prioritárias à população local. Para os participantes, a aprendizagem de novas técnicas (por exemplo, a preparação de mudas, a adubação, etc.), bem como a familiarização com novos produtos e a interação com a equipe de pesquisa são os principais benefícios do projeto. No entanto, as limitações econômicas, as prioridades de saúde, as poucas perspectivas de venda dos produtos, bem como os desafios metodológicos, logísticos e de comunicação, tiveram impacto

sobre a mobilização dos participantes. Este estudo reitera a importância da integração das percepções locais, do compartilhamento de poder e da integração de conhecimentos complementares para o sucesso e sustentabilidade de tais projetos de intervenção.

Esta tese oferece uma perspectiva interdisciplinar e ecossistêmica sobre os desafios e oportunidades entorno da implementação e sustentabilidade dos sistemas agroecológicos instalados *in situ* nos lotes familiares na Amazônia rural. Destacando a complexidade dos aspectos biofísicos, socioeconômicos, históricos, culturais e políticos que influenciam a adoção de tais práticas num contexto de subsistência, este estudo confirma a importância de projetos que visam apoiar agricultores familiares em seus esforços quanto aos tipos de agricultura alternativos que podem reduzir sua dependência das práticas de corte e queima.

Esta tese também destaca as realidades contrastantes de pesquisa e das comunidades locais, bem como as restrições que limitam a realização de projetos de pesquisa-ação adaptados às condições locais e que respondam às necessidades das populações. Reiterando a importância de abordagens interdisciplinares e participativas na pesquisa científica, este trabalho aponta para a necessidade de repensar os modelos estratégicos de operação e financiamento de projetos, a fim de facilitar a concepção e implementação de intervenções que correspondam plenamente às realidades e prioridades dos participantes, e que serão, portanto, mais sustentáveis sócio e ambientalmente.

Palavras-chaves:

Agrofloresta, sistemas agroflorestais, práticas agrícolas, pesquisa-ação, mercúrio dos solos, erosão, fatores afetando o crescimento, percepções, Amazônia.

INTRODUCTION

0.1. Problématique

Depuis les 50 dernières années, des milliers de familles ont migré du Sud et du Nordeste du Brésil vers l'Amazonie en quête d'une terre à exploiter (Margulis 2004 ; Benhin, 2006), encouragées par des incitatifs économiques et par les politiques gouvernementales d'occupation du territoire (De Mello et Théry, 2003). Cette augmentation de la présence humaine dans la région s'est accompagnée d'une accélération de la déforestation (Almeida et Campari, 1995 ; Mahar, 1989). Dans les régions rurales de l'Amazonie, les familles pratiquent pour la plupart une agriculture de subsistance rudimentaire basée sur l'usage du brûlis (« *slash-and-burn* »). Cette méthode consiste à défricher manuellement des parcelles de forêt, puis à brûler les résidus végétaux pour implanter des cultures de cycle court telles que le manioc (*Manihot esculenta*), le riz (*Oryza sativa* L.) et le maïs (*Zea mays* L.) (De Sartre et coll., 2005). Cette pratique est très commune dans la région car, en plus de constituer un moyen efficace pour obtenir une terre cultivable, elle permet de fertiliser rapidement le sol par l'apport de cendres végétales riches en cations basiques issues de la combustion de la forêt (Christanty, 1986 ; Nye et Greenland, 1964). Cependant, en raison des fortes pluies caractérisant la région, les éléments nutritifs bénéfiques pour le sol sont rapidement lessivés dans les premières années suivant le brûlis (Béliveau et coll., 2009), résultant en un appauvrissement rapide des terres (McGrath et coll., 2001). Cette baisse de fertilité des sols oblige les agriculteurs à déplacer leurs cultures sur de nouvelles parcelles, perpétuant le cycle du déboisement. Ainsi, même si la méthode du brûlis a été utilisée depuis des siècles par les populations traditionnelles amazoniennes, l'augmentation des activités agricoles et

l'intensification de son usage dans la région ont d'importants impacts socioéconomiques et environnementaux (Christanty, 1986 ; Sirén, 2007). Au-delà de ses effets sur l'équilibre écologique (Laurance, 2000) et la biodiversité (Fearnside, 1999), sur la fertilité des sols (Farella et coll., 2007 ; Béliveau et coll., 2015) et sur la qualité des cours d'eau (Farella, 1998), il est maintenant reconnu que le déboisement par brûlis pose également des risques pour la santé humaine (Bausch et coll., 2015).

0.1.1. Relations entre usage de la terre et santé humaine

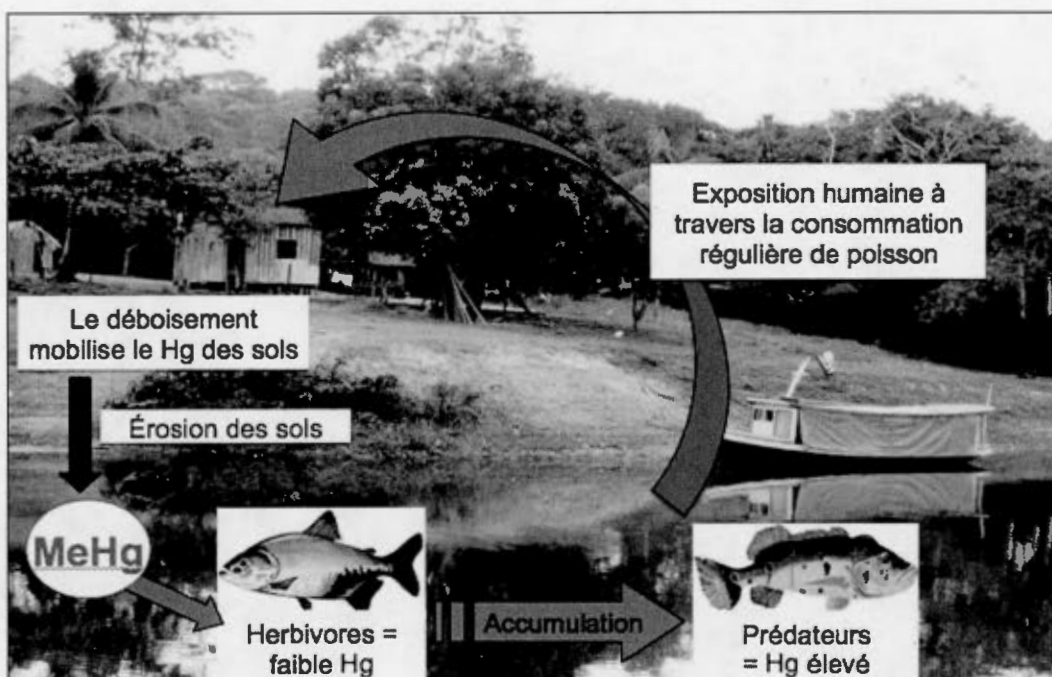
La relation entre la transformation du territoire et la santé humaine constitue le cœur des recherches de l'équipe dans laquelle s'insère ce projet (PLUPH, 2016). Parmi les nombreux enjeux de santé des populations en Amazonie, deux problèmes spécifiques de santé environnementale associés à la déforestation ont été identifiés, soit l'exposition au mercure (Hg) et la prévalence de la maladie de Chagas (Barbieri et Gardon, 2009 ; Mergler et coll., 2007 ; Romana, 2003a ; Coura, 2015). Le Hg est un métal toxique posant un risque pour la santé humaine, et son absorption peut causer divers troubles moteurs et de vision (Mergler et coll., 2007 ; Harada et coll., 2001). La maladie de Chagas est causée par une infection parasitaire qui, sans traitement, peut amener une altération des organes vitaux et aller jusqu'à la mort (Coura et Borges-Pereira, 2010 ; Rassi Jr. et coll., 2010).

a) Érosion des sols et exposition au Hg

Une relation a été établie entre le déboisement par le brûlis et la présence de Hg dans les systèmes aquatiques (Roulet et coll., 2000) (Fig. 1). Il a été montré que l'apport nutritif subit résultant du brûlis représente un choc chimique considérable pouvant causer la mobilité du Hg présent naturellement dans les sols (Béliveau et coll., 2009 ; Farella et coll., 2006). Lors des fortes pluies saisonnières, le Hg est entraîné vers les cours d'eau à travers des processus d'érosion et de lixiviation (Roulet et coll., 1999),

et dans le milieu aquatique, il est méthylé et devient alors bioaccumulable dans la chaîne alimentaire (Lebel et coll., 1997 ; Sampaio et coll., 2006). Les populations locales, fortement dépendantes de la consommation de poisson, sont alors exposées à ce contaminant (Fillion et coll., 2006 ; Passos et coll., 2008).

Fig. 1. Le cycle du Hg

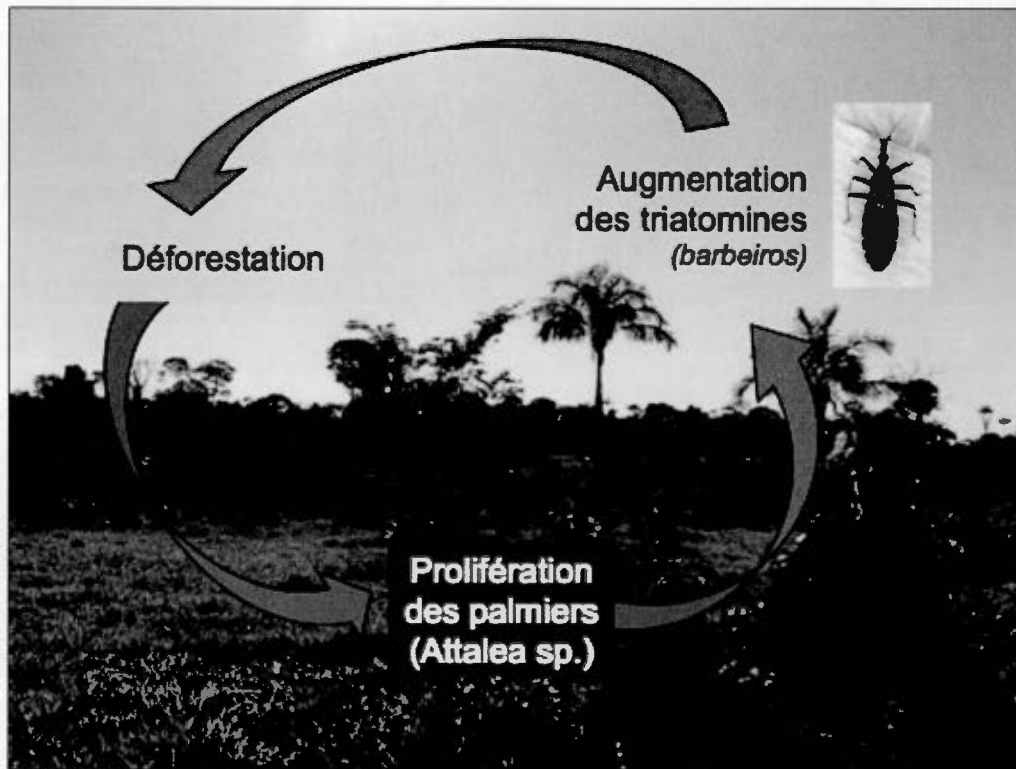


b) Ouverture du paysage et maladie de Chagas

La transformation du territoire amène également une augmentation de l'exposition à la maladie de Chagas (*American trypanosomiasis*) (Romana, 2003a ; Valente et coll., 1999 ; Vasconcelos et coll., 2001). En effet, l'ouverture du paysage favorise l'apparition de talles de palmiers *Attalea sp.*, niches privilégiées de punaises (triatomines) (Abad-Franch et coll., 2005) (Fig. 2). Les triatomines sont parmi les principaux vecteurs du protozoaire *Trypanosoma cruzi* (Coura, 2015) qui est à

l'origine de la maladie de Chagas (Rassi Jr. et coll., 2010 ; Romana, 2003b). À l'âge adulte, les triatomines peuvent voler jusqu'aux maisons et autres lieux de vie des populations locales, augmentant le risque de contact avec le protozoaire, et posant ainsi un risque pour la santé humaine (Valente et coll., 1999).

Fig. 2. Le cycle de Chagas



*Figure adaptée du site du projet (PLUPH, 2016)

0.1.2. L'agroécologie comme alternative à l'agriculture sur brûlis

Considérant les impacts multiples du déboisement et du brûlis, l'agroécologie apparaît comme une avenue prometteuse pouvant permettre de réduire les effets négatifs de la petite agriculture sur l'environnement tout en améliorant la qualité de

vie des populations (Altieri et Nicholls, 2012). L'agroécologie intègre les principes de l'écologie et s'inspire de la structure, des fonctions et des processus des systèmes naturels dans l'objectif de développer un modèle d'agriculture qui soit respectueux de l'environnement tout en étant socialement équitable et économiquement viable (Altieri et Nicholls, 2012). Les systèmes agroécologiques impliquent généralement une diversité d'espèces et sont basés sur les interrelations et les interactions entre ces dernières (Vandermeer, 1995). L'objectif avec ce type d'agriculture est de préserver la biodiversité tout en assurant un maintien de la productivité agricole. En effet, une combinaison optimale d'espèces dans le temps et l'espace donne aux systèmes agroécologiques une capacité de s'autoréguler, ce qui permet l'amélioration du recyclage des éléments nutritifs, le maintien de la matière organique du sol, la conservation de l'eau et la réduction des risques d'invasions, réduisant ainsi la nécessité de l'utilisation d'engrais et autres amendements (Altieri et Nicholls, 2012).

En plus de leurs bénéfices sur le plan environnemental, les pratiques agroécologiques amènent une diversification des productions, ce qui contribue à améliorer la sécurité alimentaire et les revenus des petits agriculteurs, tout en contribuant à leur empowerment (Altieri et Toledo, 2011 ; Altieri et Nicholls, 2012). Parmi les différents modèles d'agroécologie, l'agroforesterie se situe à l'interface entre l'agriculture et la foresterie et est apprécié pour son potentiel de contrôle de l'érosion et de conservation du sol, de même que pour ses bénéfices nutritionnels et ses retombées économiques (Alfaia et coll., 2004 ; Semedo et Barbosa, 2007 ; Long et Nair, 1999).

Dans plusieurs régions du monde, l'agroécologie suscite un intérêt croissant dans les organisations non gouvernementales, les groupes de recherche et les institutions de développement rural (Altieri et Toledo ; Altieri, 2009). Cependant, l'adoption de systèmes inspirés de l'agroforesterie dans les communautés agricoles est toujours limitée en raison de plusieurs contraintes techniques et socioéconomiques (Altieri et

Nicholls, 2012 ; Long et Nair, 1999). En Amazonie, la plupart des projets s'intéressant à la promotion de telles pratiques sont développés dans des parcelles expérimentales sous des paramètres contrôlés ou mettent l'emphasis sur des aspects techniques et agronomiques. Puisque de tels projets n'ont pas à considérer les nombreux défis et aléas pouvant survenir en contexte réel sur des fermes familiales (Hecht, 1995), la transposition des résultats de telles recherches dans des communautés produisant avec des moyens rudimentaires peut poser problème. De plus, jusqu'à récemment, les recherches sur l'agroforesterie s'intéressaient principalement aux cultures commerciales et les informations concernant les espèces indigènes/traditionnelles plantées en consortium demeurent rares. Dans ce contexte, il apparaît essentiel de se pencher sur la faisabilité de la mise en place de tels consortiums agroforestiers - incluant des espèces indigènes – dans des fermes familiales rudimentaires, et considérant le contexte de subsistance caractérisant les communautés locales, d'évaluer leur viabilité d'un point de vue social et environnemental.

0.2. Historique et contexte de la recherche

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du projet *Poor Land Use, Poor Health* (PLUPH), portant sur les relations entre l'usage de la terre, l'environnement et la santé humaine dans les tropiques humides (PLUPH, 2016). Jusqu'au début des années 2000, les recherches menées en Amazonie par le projet prédécesseur au PLUPH, le projet Caruso, se sont d'abord concentrées sur l'exposition humaine au mercure provenant du déboisement. Les champs d'étude de l'équipe se sont ensuite élargis pour explorer d'une manière plus globale les questions de santé environnementale dans la région. Au problème du Hg s'est ajouté celui de l'exposition à la maladie de Chagas comme piliers des travaux de recherche. Au sein du projet, trois axes se complètent et sont interdépendants : l'axe de la santé, celui de

l'environnement et l'axe social. Ainsi, entre 2008 et 2015, des chercheurs du Québec, du Brésil et de l'Europe, ainsi que des étudiants de maîtrise et de doctorat de plusieurs universités ont travaillé en étroite collaboration, mettant en commun leurs champs disciplinaires et leurs expertises respectives. Les différents membres de l'équipe se sont intéressés à diverses disciplines, ce qui a permis d'explorer avec une approche interdisciplinaire et écosystémique les relations entre usage de la terre, transformation du territoire et santé humaine dans la région d'étude. Parmi les champs disciplinaires et thématiques abordés par l'équipe, notons entre autres l'écologie, l'écoépidémiologie de la maladie de Chagas, la géochimie du Hg, la pédologie et les sciences des sols, l'étude des services écosystémiques, les questions d'accès et de gestion des ressources, les facteurs influençant l'adoption des pratiques agricoles, l'alimentation et la santé, l'écotoxicologie, le leadership et l'organisation communautaire, ou encore, l'étude des visions du monde et des représentations sociales.

Une autre des particularités du projet PLUPH consistait en la valorisation de la rencontre de la recherche et de l'action, concrétisée par la mise en œuvre d'un volet d'intervention impliquant la mise en place de plantations agroforestières dans des fermes familiales des communautés participantes. L'intervention visait entre autres à tester la faisabilité de l'implantation de systèmes agricoles alternatifs pouvant contribuer à réduire la dépendance des populations locales au brûlis, et à valider leur potentiel à limiter la mobilité du Hg naturel des sols ainsi que la dispersion des triatomines causant la maladie de Chagas.

S'insérant dans ce vaste projet de recherche-action, la présente thèse s'intéresse plus précisément au volet d'intervention faisant la promotion de l'adoption de pratiques agroécologiques. Différents angles d'étude sont abordés dans les différents chapitres de la thèse. Une des forces du présent projet réside dans le fait qu'à la différence des expériences réalisées sur des parcelles expérimentales contrôlées, cette étude se

penche sur la viabilité des systèmes implantés dans un contexte réel, *in situ* dans des fermes familiales rudimentaires, et donc sujettes aux nombreux aléas humains et environnementaux pouvant survenir dans un contexte d'agriculture de subsistance. Ces plantations constituent donc un « laboratoire » dynamique idéal pour explorer les défis et opportunités entourant l'adoption des pratiques agricoles alternatives au brûlis dans les communautés rurales de l'Amazonie.

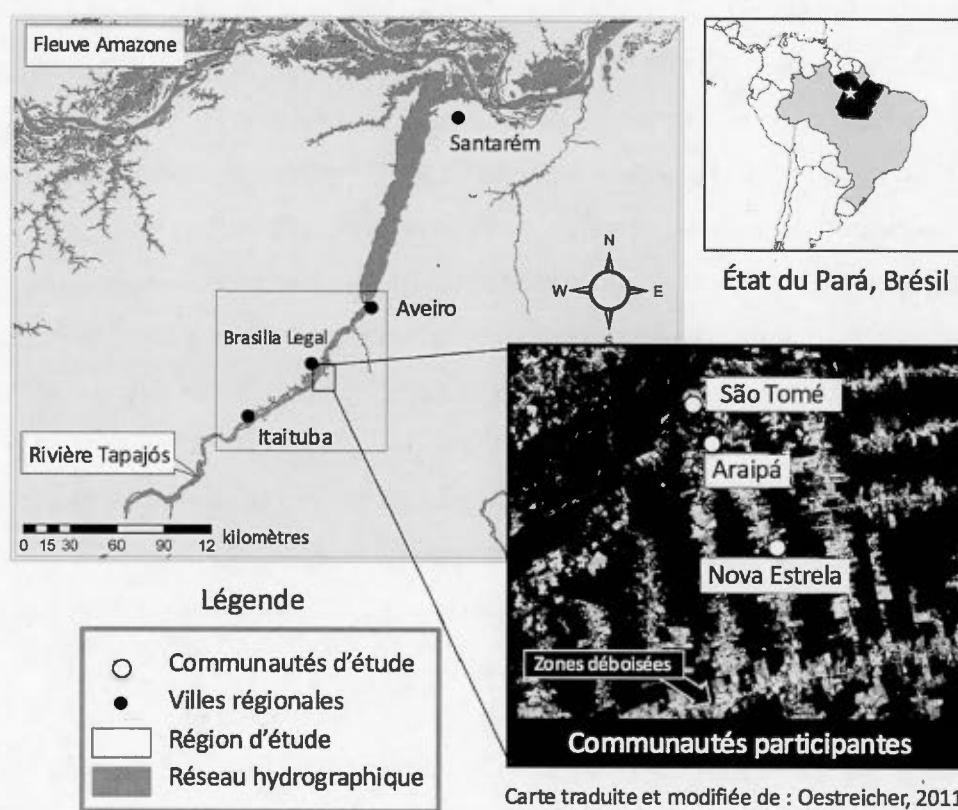
0.3. Région d'étude

Ce projet a été réalisé dans l'ouest de l'État du Pará, en Amazonie brésilienne, un front pionnier marqué par de grandes transformations depuis l'intensification de l'occupation du territoire (Fearnside, 2001). Les villages participants, São Tomé (03°99'S – 55°57'O), Araipá (04°03'S – 55°54'O) et Nova Estrela (04°07'S – 55°51'O), sont situés dans les municipalités d'Aveiro et de Rurópolis, dans la région du moyen Tapajós (Fig. 3). Ces communautés étaient d'intérêt pour la présente étude puisqu'elles font toutes les trois partie du volet d'intervention du projet PLUPH et qu'elles ont collaboré à l'implantation de systèmes agroécologiques impliquant un usage réduit du feu dans des fermes familiales locales⁴.

⁴ Une quatrième communauté située dans la municipalité de Trairão (la Vicinal da Batata) a également collaboré au projet. Celle-ci avait été approchée par l'équipe car elle est activement impliquée dans un autre projet d'intervention mené par l'IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia), au sein duquel des plantations agroforestières ont été mises en place dans les fermes familiales d'une dizaine de familles. Cependant, cette communauté n'a pas été incluse dans la présente étude puisqu'elle n'a pas été partie prenante du projet de plantations du PLUPH, objet central de cette thèse. La collaboration avec les habitants de cette communauté a toutefois permis de mieux saisir la complexité des dynamiques régionales et a contribué au développement d'une vision plus complète de la diversité démographique, socioéconomique, historique et biosphérique existant en Amazonie brésilienne. L'observation du processus entourant l'appropriation d'un autre projet d'intervention agroécologique dans un contexte distinct apporte un regard plus complet sur les défis et les opportunités associés à de telles entreprises. L'expérience avec cette communauté a donc assurément contribué aux réflexions exposées dans cette thèse.

Plus d'informations sur les caractéristiques biophysiques générales et sur le contexte socioéconomique de la région sont fournies dans la section des méthodes des quatre chapitres de la thèse et quelques photos des villages d'étude sont disponibles à l'Annexe A.

Fig. 3. La région d'étude



En 2010, un recensement a été effectué par l'équipe de recherche avec l'ensemble des ménages de chacune des trois communautés, permettant de dresser un portrait démographique et socioéconomique des populations participantes. De plus, la réalisation de groupes de discussion avec les volontaires de chacun des villages en

2011 a permis de connaître leur trajectoire historique respective et d'améliorer la compréhension quant aux événements ayant influencé l'évolution des communautés. Les villages d'étude se distinguent les uns des autres sur plusieurs plans. Leurs principales caractéristiques sont résumées dans le Tableau 1, et plus d'informations sur ces dernières sont également présentées dans le chapitre 4 de la thèse. En résumé, São Tomé est une communauté riveraine située près de la rivière Tapajós, qui a émergé lors du boom du caoutchouc des années 1930. Ses habitants sont principalement originaires de l'État du Pará et ont généralement un mode de vie plutôt traditionnel, surtout basé sur l'agriculture et la pêche, mais également sur la chasse et la collecte de produits de la forêt. Araipá est plus éloigné de la rivière – au bout d'un lac portant son nom – et a été fondé il y a environ 60 ans. Sa population est d'origine mixte, puisque certaines familles proviennent du Pará tandis que d'autres ont migré en provenant d'autres régions du Brésil, attirées par les politiques de colonisation agraire du gouvernement brésilien (De Mello et Théry 2003 ; Fearnside, 2008). L'agriculture et l'élevage y sont les principales activités. Nova Estrela se trouve quant à lui sur un chemin de terre menant au Km 70 de la route Transamazonienne BR-230 (où est située la petite ville de Divinópolis), à 8 km des berges du lac Araipá. Ses habitants sont majoritairement des migrants du Nordeste brésilien, vivant principalement de l'élevage et de l'agriculture (Oestreicher, 2014).

Dans la présente thèse, les noms des communautés seront abrégés par les lettres « T » (São Tomé), « M » (Araipá) et « R » (Nova Estrela). « T » réfère au mode de vie plutôt traditionnel des habitants de São Tomé, « M » à l'origine mixte de la population d'Araipá, et « R », au caractère récent de Nova Estrela.

Tableau 1 : Caractéristiques des communautés d'études

Caractéristiques	São Tomé (T)	Araipá (M)	Nova Estrela (R)
Population*	123 habitants, 26 ménages	207 habitants, 37 ménages	156 habitants, 27 ménages
Origine de la pop.	Principalement du Pará	Mixte - Pará et Nordeste	Mixte du Pará et du Nordeste
Historique de la communauté	> 80 ans, fondée lors du boom du caoutchouc	Existe depuis +/- 60 ans	Récente, établie depuis < 30 ans
Localisation	En bordure de la rivière Tapajós	Située au bout du lac Araipá (plus éloignée de la rivière)	Sur une route secondaire (entre Araipá et la Transamazonienne)
Infrastructures et transports	Chemin de terre reliant le village à la route BR-230. Transport plutôt fluvial, routier limité	Chemin de terre reliant le village à la route BR-230. Transport fluvial moins direct, transport routier limité.	Chemin de terre reliant le village à la BR-230 et Araipá. Peu de transport fluvial, transport routier limité selon l'état de la route.
Mode de vie	Agriculture et pêche (suivies de la chasse et la collecte en forêt). Peu d'élevage.	Agriculture et élevage. Peu de pêche, de chasse et de collectes en forêt	Principalement l'élevage, suivi de l'agriculture.
Activités économiques	Peu de participation au marché	Faible à moyenne participation au marché	Participation moyenne au marché
Description du paysage et déboisement**	Déboisement limité. Paysage fragmenté, forêts matures et secondaires. Petits champs agricoles et pâturages	Déboisement moyen. Paysage fragmenté, forêts matures et secondaires. Petits à grands champs agricoles et pâturages	Déboisement élevé. Petits à grands champs agricoles et pâturages. Peu de forêt mature et secondaire

Tableau adapté de Oestreicher, 2016. Les lettres à côté des noms des villages sont les abréviations utilisées pour les identifier et réfèrent à la nature traditionnelle (T) de São Tomé, à la population mixte d'Araipá (M) et à naissance récente (R) de Nova Estrela.

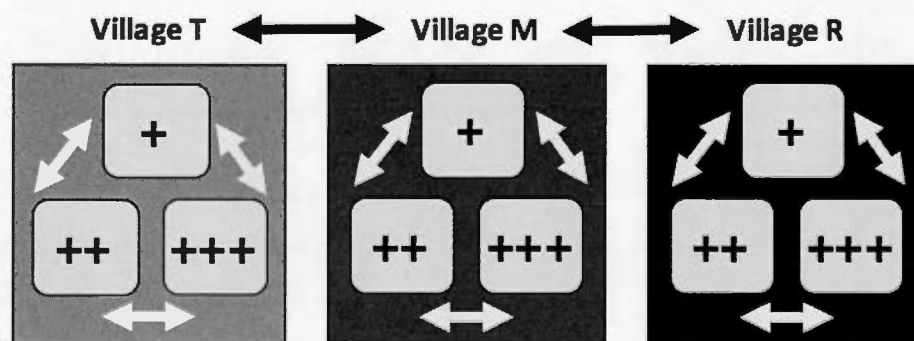
*Données issues du recensement effectué par l'équipe de recherche en 2010. **Données provenant de Rozon et coll., 2015.

0.4. Présentation du projet d'intervention

Le volet d'intervention en agroécologie du PLUPH constitue l'objet principal de cette thèse. L'objectif premier de cette entreprise de recherche-action était d'expérimenter des types de systèmes basés sur un usage réduit du feu et de valider leur efficacité à contribuer à réduire la mobilité du Hg des sols ainsi que la dispersion des triatomines causant la maladie de Chagas (PLUPH, 2016). Ces systèmes, conçus en collaboration avec les communautés locales et implantés *in situ* dans des fermes familiales participantes, représentent également un laboratoire idéal permettant d'explorer les défis et les opportunités entourant la mise en œuvre d'un tel modèle d'agriculture dans les régions rurales de l'Amazonie.

L'intervention consistait en l'implantation, dans chacune des trois communautés participantes, de trois types de systèmes caractérisés gradient de complexité structurel et composition (Fig. 4). L'idée était de créer un design équilibré permettant de faire diverses analyses comparatives entre les différents systèmes au sein d'un même village, de même qu'entre les villages pour un même type de système.

Fig. 4 : Design de l'intervention



*Système peu complexe (+), moyennement complexe (++), plus complexe (+++).
Les flèches à double sens représentent les comparaisons entre les systèmes (pour une même communauté), et entre les communautés (pour un même type de système).

0.4.1. Processus de sélection des villages, des participantes et des sites

a) Choix des communautés et des familles participantes

La sélection des communautés participantes a été faite selon des critères géographiques, environnementaux et démographiques. Afin de répondre aux objectifs de la recherche, trois villages ayant un gradient biophysique (c.-à-d. communauté riveraines vs de l'intérieur des terres) et sociodémographique (population originaire de la région vs migrante) étaient recherchés. Initialement, il était prévu d'inclure dans le projet une communauté autochtone, mais l'idée fut abandonnée en raison de complications logistiques et bureaucratiques. Les trois villages participants ont été sélectionnés après un premier terrain de reconnaissance et suite à une consultation avec les décideurs locaux, puisqu'ils correspondaient aux besoins de l'étude tout en étant relativement accessibles.

La possibilité d'implanter les systèmes dans un espace collectif avait été au départ évaluée, mais la distribution des terres dans les communautés s'y prêtait difficilement. De plus, la faible organisation communautaire au sein des villages laissait présager des difficultés éventuelles de gestion d'un espace collectif, risquant de nuire à la pérennité du projet. La méthode préconisée fut alors de mettre en place les systèmes sur les terres de trois familles par village et de mobiliser la participation de l'ensemble des habitants pour chacune des étapes d'implantation et de maintien des plantations. Le choix des agriculteurs a été fait à travers une étude de réseaux sociaux visant à identifier des personnes considérées par leurs concitoyens comme étant des « *leaders* » sur le plan de l'agriculture (Valadão, 2009). Ensuite, des ateliers interactifs lors de réunions communautaires ont été réalisés dans chacun des villages afin de valider l'intérêt et la pertinence des personnes ayant été pré-identifiées par l'étude de réseaux. Cette méthodologie visait à favoriser le partage des apprentissages et la diffusion de l'expérimentation au sein des communautés.

b) Sélection des sites

Les sites où ont été implantés les systèmes ont été sélectionnés selon des critères pédologiques, d'accessibilité et de représentativité. À partir des sites suggérés par les agriculteurs volontaires, une évaluation des emplacements les plus adéquats a été faite par des membres de l'équipe. Des espaces facilement accessibles et mesurant au moins 110 m x 110 m étaient recherchés. Des jachères étaient davantage appropriées que des forêts matures, d'abord afin d'éviter de déboiser des parcelles de forêt pour le projet, et également afin de faciliter la préparation des sites et le maintien subséquent des systèmes. Les sites devaient également être représentatifs du type de terre existant dans la région, et par conséquent, les emplacements ayant des propriétés particulières, comme par exemple les *terras pretas do Indio*, les riches sols noirs anthropogéniques qui existent à certains endroits de l'Amazonie (Cunha et coll., 2009 ; Lima et coll., 2002), ont dû être exclus. Des jachères de trois à cinq ans ayant auparavant été sous culture de plantes de cycle court ont donc été sélectionnées. Les sites de São Tomé étaient plutôt argileux, alors que les sites des deux autres communautés étaient davantage sablonneux et sablo-argileux (Soil Survey Staff, 1999).

0.4.2. Conception des systèmes implantés

La conception des systèmes a été basée sur les recommandations scientifiques et techniques de l'Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), concernant par exemple les caractéristiques nutritionnelles et de croissance des plantes, ainsi que sur les perceptions exprimées par des participants (intérêt général, perspective de vente, usages, etc.) lors de réunions communautaires.

L'objectif initial du projet était d'implanter des systèmes « sans brûlis », c'est-à-dire d'éviter totalement l'usage du feu. Cependant, devant le peu de réceptivité des participants quant à cette proposition ainsi qu'en raison de considérations logistiques

et techniques, l'idée a été mise de côté et un compromis impliquant un usage réduit du feu a été adopté. Ainsi, même si les systèmes ont été mis en place après un brûlis initial, ceux-ci ont été pensés afin de pouvoir ensuite se maintenir sans usage subséquent du feu et sans amendements, grâce à une combinaison optimale d'espèces et à une structure permettant l'amélioration du recyclage des nutriments ainsi que la conservation des sols.

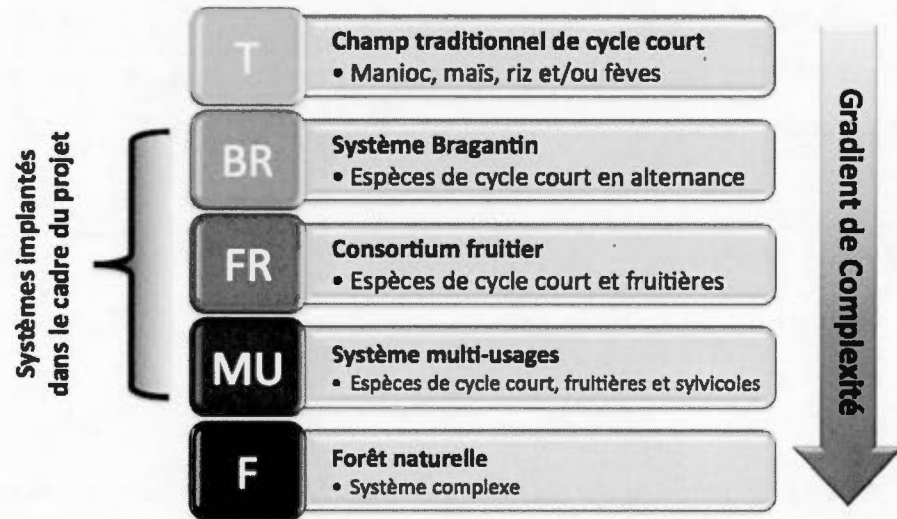
a) Types de systèmes

Trois types de systèmes agroécologiques (Fig. 5) ayant un gradient de complexité (structurel et de composition) ont été proposés aux participants :

- **Le système Bragantin (BR)⁵** : champ de composition dense incluant des plantes couramment cultivées dans la région (manioc, riz, fèves et maïs), plantées en alternance et selon une organisation spatiale précise (Galvão et coll., 2008) ;
- **Le consortium fruitier (CF)** : système agroforestier composé d'espèces fruitières et de plantes de cycle court, devant atteindre environ 4 à 5 m de hauteur ;
- **Le système multi-usages (MU)** : système agroforestier plus complexe composé d'un mélange de plantes de cycle court, d'arbres fruitiers et d'espèces sylvicoles, devant atteindre 15 m à maturité.

⁵ Dans cette thèse, les parcelles implantées dans chacun des trois villages sont appelées par le nom du type de système (BR, CF et MU), suivi de l'abréviation utilisée pour la communauté (T, M et R). Par exemple, le système multi-usage mis en place dans le village de São Tomé est appelé « MU-T ».

Fig. 5 : Types de systèmes expérimentaux étudiés



Le système Bragantin (BR) est un modèle de culture développé par Embrapa dans la région du même nom située près de Belém, la capitale du Pará (de Oliveira et Neto, 2004). Son inclusion dans ce projet constituait une première expérience dans une région ayant une saison sèche plus définie telle que celle du Tapajós. Les systèmes CF et MU⁶ sont quant à eux caractérisés par une présence d'arbres, visant à obtenir une canopée fermée à maturité pour assurer la protection du sol, la diminution de l'érosion ainsi qu'un meilleur recyclage des nutriments. Il a également été postulé par le projet que ces systèmes plus complexes pourraient contribuer à réduire la mobilité du Hg des sols et limiter la dispersion des triatomines vers les domiciles et les espaces de péri-domicile.

⁶ Dans les chapitres en anglais de la thèse, le consortium fruitier est appelé « orchard fruit tree » system (OF) et le système multi-usage est appelé « mutil-purposes » system (MP).

b) Composition et structure des systèmes

La sélection des espèces composant les systèmes a résulté d'un processus consultatif avec l'équipe d'Embrapa et les communautés participantes. Lors de réunions communautaires tenues au début du projet, la structure générale des trois types de systèmes a été présentée aux participants, et un atelier participatif a été organisé afin d'identifier conjointement avec les participants les espèces suscitant le plus d'intérêt localement. Puisque la disponibilité des semences, la valeur nutritionnelle, ainsi que les caractéristiques agricoles et de croissance des plantes des critères prioritaires pour le projet, certaines espèces avaient déjà été présélectionnées par l'équipe de recherche. Les participants aux réunions communautaires ont pu exprimer leur niveau d'intérêt et leurs opinions concernant chacune des espèces présélectionnées, et le choix final de la composition des systèmes a ensuite été fait par les chercheurs de l'équipe en tentant de concilier les aspects culturels, sociaux, économiques et environnementaux avec les priorités scientifiques.

Au total, 10 espèces ont ainsi été sélectionnées pour les deux types de consortiums agroforestiers (Tableau 2). Parmi celles-ci, six sont des espèces indigènes de l'Amazonie, soit le palmier açaï (*Euterpe oleracea*, variété BRS Pará), l'andiroba (*Carapa guianensis*), la noix du Brésil (*Bertholettia excelsa*), l'araza (*Eugenia stipitata*), le corossolier (*Annona muricata*) et l'ananas (*Ananas comosus*). Les quatre autres sont des espèces exotiques, soit le manguier (*Mangifera indica*), l'oranger (*Citrus sinensis*), l'acérola (*Malpighia glabra*) et le bananier (*Musa* sp.). La combinaison des espèces a été choisie de manière à permettre une production graduelle tout au long de l'année de même qu'au fil des ans. En plus d'une majorité d'espèces d'arbres, l'ananas a été incluse comme plante de cycle court afin d'offrir une production rapide aux familles participantes. Les bananiers commencent à produire dans l'année suivant la plantation, suivis de l'acérola et l'araza, qui donnent fruits à partir de deux ans, et de l'açaï, du manguier et du corossolier, qui produisent

ensuite au cours de l'année suivante. Enfin, l'andiroba et la noix du Brésil ont une production qui s'étale à moyen et à long terme, pouvant générer des revenus supplémentaires pour les participants.

Tableau 2. Espèces sélectionnées pour systèmes CF et MU

Nom des espèces plantées			Production (début)
Français	Anglais	Latin	
7 espèces indigènes	Noix du Brésil	<i>Bertholettia excelsa</i>	Fruit (7-9 ans)
	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i>	Hulle (6 ans) Bois (10 ans)
	Corossolier	<i>Annona muricata</i>	Fruit (3-4 ans)
	Araza	<i>Eugenia stipitata</i>	Fruit (3 ans)
	Açaï	<i>Euterpe oleracea</i>	Fruit (3 ans)
	Ananas	<i>Ananas comosus</i>	Fruit (14-18 mois)
	Pois doux	<i>Inga edulis</i>	Fruit, Engrais vert
4 espèces exotiques	Manguier	<i>Mangifera indica</i>	Fruit (3-4 ans)
	Oranger	<i>Citrus sinensis</i>	Fruit (3 ans)
	Acérola	<i>Malpighia glabra</i>	Fruit (2 ans)
	Bananier	<i>Musa sp.</i>	Fruit (18 mois)

De plus, pour les trois types de systèmes, l'ajout d'une bordure de légumineuses autour des champs a été pensée afin d'obtenir de l'engrais vert pouvant contribuer au maintien de la fertilité du sol (Lojka et coll., 2012). Dans le cas du CF et du MU, la légumineuse sélectionnée est le pois doux (*Inga edulis*), et dans le cas du BR, il s'agit du pois d'Angole (*Cajanus cajan*). Plus de détails sur les raisons du choix des espèces plantées et sur les caractéristiques et usages de celles-ci sont disponibles dans la section des méthodes du chapitre 1 de la thèse.

Les plantations ont été mise en place selon une organisation spatiale précise : chaque site de 1 hectare (100 m x 100 m) comprend 41 rangées parallèles comportant chacune 41 plantes espacées de 2,5 m. Au total, chaque parcelle contient 110 arbres de haut port (andiroba, noix du Brésil, manguiers et corossoliers) séparés entre eux par une distance de 10 m, 400 arbres de taille moyenne (orangers, arazas et acérolas) espacés les uns des autres de 5 m, de même que 585 palmiers d'açaï et 286 bananiers séparés par 2,5 m. Les systèmes incluent également une rangée de 100 plants d'ananas en plus d'être entourés d'une bordure de 5 m où 2000 légumineuses ont été plantées. Le plan montrant la structure de chaque type de systèmes peut être consulté dans l'Annexe B.

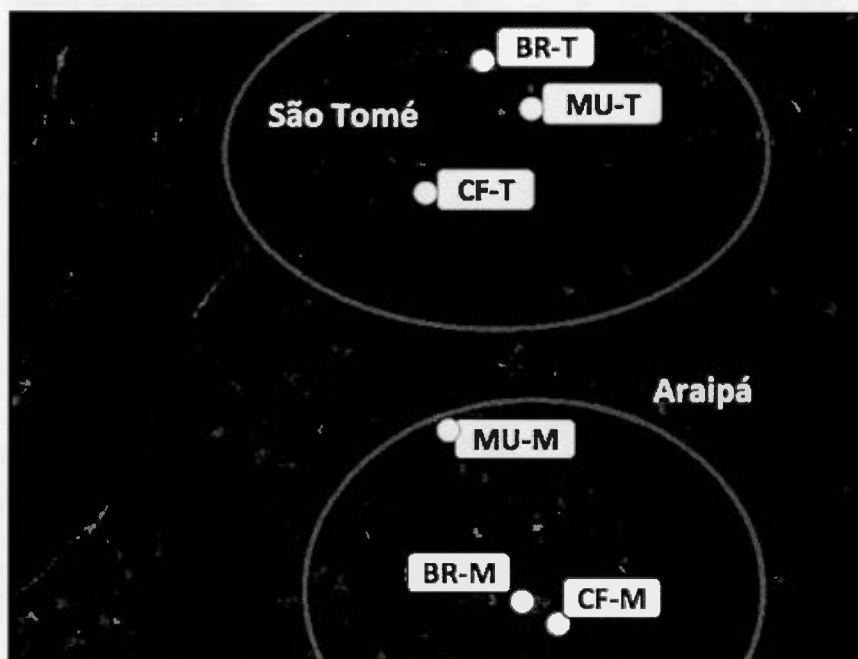
0.4.3. Implantation des systèmes

L'implantation des systèmes s'est déroulée en collaboration avec les populations locales et avec l'aide d'une équipe d'assistants de terrain. Les brûlis ont d'abord été effectués par les familles participantes à la fin de 2008, et les espèces sélectionnées ont ensuite été plantées en différentes étapes entre 2009 et 2010. À la demande des agriculteurs participants, une fertilisation initiale en NPK, ainsi que l'application de chaux et d'engrais organique ont été faites. D'avantage d'informations sur les étapes d'implantation des systèmes sont présentées dans les chapitres 1 et 4 de la thèse.

Au début du projet, l'implantation de neuf parcelles expérimentales avait été prévue, soit un système de chaque type par village et donc, trois plantations par communauté. Cependant, les trois familles participantes de Nova Estrela se sont désistées au moment de la première phase de la plantation, alors six parcelles furent finalement implantées (Fig. 6). Les familles propriétaires des systèmes CF-M et MU-M ont ensuite cessé de maintenir leur plantation un an après leur mise en place, suivies des propriétaires des deux systèmes Bragantin. Les raisons pouvant expliquer l'abandon

de certaines parcelles sont explorées dans le chapitre 4 de la thèse. Cinq ans après le début du projet, les deux plantations agroforestières mises en place dans le village de São Tomé (CF-T et MU-T) étaient toujours maintenues. Des photos des systèmes mis en place et des espèces plantées sont fournies aux Annexes C.1 et C.2.

Fig. 6 : Parcelles implantées



0.5. Objectifs de la thèse

La présente thèse s'intéresse à la mise en œuvre et à l'appropriation d'interventions en agroécologie réalisées dans un contexte de subsistance. Elle vise plus spécifiquement à évaluer si les plantations implantées dans le cadre du projet PLUPH constituent une alternative prometteuse aux cultures sur brûlis, d'un point de vue environnemental et social.

Une évaluation approfondie de la viabilité d'un projet intervention représente une entreprise d'envergure comprenant de multiples dimensions et nécessitant un horizon de temps dépassant la durée d'un projet de doctorat. La présente étude constitue donc une analyse préliminaire des défis et des opportunités accompagnant la mise en place des systèmes expérimentaux ainsi que leur maintien pendant les quatre premières années suivant leur implantation.

Plus précisément, **les objectifs de l'étude** sont les suivants :

- (i) Faire une analyse comparative des taux de survie, de croissance, ainsi que des statuts nutritionnels des espèces plantées afin de déterminer quelles espèces parmi celles sélectionnées sont les plus adaptées aux conditions locales ;
- (ii) Identifier les principaux facteurs biophysiques et humains influençant le développement des systèmes expérimentaux ;
- (iii) Valider l'efficacité des systèmes agroforestiers à contribuer à la réduction de l'érosion et de la mobilité du Hg sur sol ;
- (iv) Explorer les perceptions des participants quant aux systèmes proposés, et comprendre de quelle manière les perceptions de même que les savoirs sont liés à l'appropriation de l'intervention par les communautés locales.

Les différents angles d'approche de cette thèse sont complémentaires et offrent un regard interdisciplinaire sur les facteurs influençant la pérennité de l'intervention étudiée. Cette thèse touche les trois axes du projet PLUPH (environnemental, social et de santé), ainsi qu'un des deux piliers de recherche mis de l'avant pour faire la promotion de l'agroécologie, soit l'exposition au Hg. Le potentiel des systèmes agroécologiques à contribuer à la réduction de la dispersion des insectes transmettant la maladie de Chagas n'est toutefois pas abordé dans la présente thèse, en raison de l'horizon de temps limité du doctorat et du jeune âge des plantations. Or, il serait tout à fait envisageable de s'intéresser à cette question ultérieurement, lorsque les systèmes seront davantage développés, et si les activités de recherche sont poursuivies dans la région d'étude.

0.6. Structure de la thèse

La thèse contient quatre chapitres présentés sous forme d'articles (les trois premiers rédigés en anglais et le dernier en français) qui seront soumis à des revues scientifiques. Ces quatre chapitres sont écrits de manière à pouvoir être lus indépendamment, mais sont étroitement liés et complémentaires les uns aux autres. Leur ensemble propose un regard intégré sur divers aspects touchant la viabilité et la pérennité du projet d'intervention étudié.

I.6.1. Présentation des chapitres

L'introduction générale amène une contextualisation qui permettra ensuite d'appréhender les différents éléments présentés dans les chapitres individuels avec une compréhension plus globale des questions abordées. D'abord, un bref rappel de la problématique du déboisement et de ses liens avec la santé environnementale est offert, suivi d'un historique des travaux de l'équipe de recherche au sein de laquelle

cette thèse a été réalisée. Ces sous-sections visent à mettre en contexte la présente étude au sein du vaste travail collaboratif et longitudinal qui l'entoure. La présentation du projet d'intervention et de la région d'étude apporte ensuite des éléments complémentaires à celles se trouvant dans les chapitres individuels. Un résumé des approches privilégiées et des méthodes utilisées pour réaliser cette étude est également fourni. Enfin, une brève présentation des activités de retour des résultats de recherche aux communautés participantes donne un aperçu des possibilités de diffusion des connaissances au-delà des canaux traditionnels de publication académiques. Ces efforts de vulgarisation et de partage sont essentiels pour rejoindre les populations pouvant être bénéficiaires des tels projets.

Les **premier et deuxième chapitres** sont fortement inter-reliés et constituent une évaluation du développement préliminaire des deux types de systèmes agroforestiers implantés dans les communautés de São Tomé et Araipá, ainsi que des facteurs ayant influencé leur succès. Le premier article est une analyse comparative de la survie et de la croissance des différentes espèces plantées, permettant d'identifier les espèces les plus adéquates à inclure dans d'éventuels projets réalisés dans des conditions similaires à celles de l'étude. Le deuxième article s'attarde quant à lui aux différents facteurs biophysiques et humains affectant le développement des systèmes et met en lumière l'importance prépondérante des facteurs humains et des conditions environnementales pour la pérennité des systèmes, au-delà de l'impact des caractéristiques édaphiques.

Le **troisième chapitre** s'intéresse au potentiel des systèmes agroforestiers à contribuer à la réduction de l'érosion des sols et de la mobilité du Hg et des cations. Il fait ressortir les bénéfices à court terme – et non seulement à moyen ou long terme – de jeunes plantations pour le maintien de la fertilité des sols de même que sur la rétention du Hg. En effet, les faibles niveaux d'érosion se rapprochant de ceux des milieux naturels trouvés dans la plantation agroforestière confirment que l'adoption

de ce type de système comporte des avantages indéniables, déjà dans leur phase préliminaire de développement.

Le **quatrième chapitre** explore certains des aspects humains entourant la mise en œuvre et l'appropriation de projets d'intervention tels que celui étudié. Ce chapitre, dans sa forme actuelle, ne faisait pas partie du plan de thèse initial, mais son intérêt est apparu évident en cours de projet, devant les situations particulières rencontrées tout au long de l'intervention. En effet, la mise en place de systèmes agroécologiques *in situ* sur des fermes de communautés vivant en mode de subsistance, plutôt que dans des champs expérimentaux, s'accompagne de nombreux défis. L'étude de ces processus est d'une grande pertinence car elle permet de jeter un regard éclairant sur les obstacles à l'appropriation de telles initiatives par les populations locales, et par conséquent sur les conditions influençant la diffusion de pratiques alternatives dans un contexte d'agriculture rudimentaire. Ce chapitre réitère le rôle des visions du monde, des perceptions des savoirs traditionnels et des dynamiques de pouvoir dans tout projet de recherche-action réalisé en milieu réel.

La **conclusion générale** de la thèse intègre les apprentissages et réflexions multiples issus de l'étude du projet d'intervention et vise à susciter une réflexion pouvant être utile pour de futurs projets d'intervention menés dans des contextes similaires. Cette section propose également une série d'orientations pouvant contribuer à favoriser le succès et la pérennité de futurs projets d'agroécologie réalisés dans des conditions rudimentaires et de subsistance.

0.6.2. Présentation des annexes

Plusieurs **Annexes** sont incluses à la fin de cette thèse, où sont présentés des compléments d'informations méthodologiques, notamment les plans des systèmes étudiés et les outils de collectes de données qualitatives utilisés (ex : questionnaires,

schéma d'entretien, etc.). Des photos des communautés participantes, des sites d'étude et des espèces sélectionnées, de même que de différentes activités effectuées le terrain sont également fournies. Enfin, les fruits des travaux de vulgarisation des résultats de recherche, réalisés parallèlement à cette thèse, y sont présentés.

- **Annexe A** : photos des communautés participantes
- **Annexe B** : plans des systèmes expérimentaux étudiés
- **Annexe C** : photos de différentes étapes de l'implantation des systèmes (C.1) et de certaines des espèces sélectionnées (C.2)
- **Annexe D** : photos des collectes de données quantitatives (D.1) et qualitatives (D.2) sur le terrain
- **Annexe E** : questionnaire général utilisé collectivement par divers membres de l'équipe de recherche lors d'entrevues réalisées en 2011 avec l'ensemble des habitants (volontaires de 15 ans et plus) des trois communautés (E.1). Les annexes E.2 et E.3 sont respectivement le guide d'entretien ayant été utilisé pour les entrevues semi-dirigées effectuées en 2012 avec les participants au projet de plantations et le document utilisé lors de la réalisation des entretiens pour consigner les réponses des participants.
- **Annexe F** : photos de certaines des activités de retour aux communautés.
- **Annexe G** : bande dessinée éducative conçue par des membres de l'équipe de recherche et ayant été utilisée lors des ateliers participatifs de retour aux communautés réalisés en mars 2015.

0.7. Approche de recherche

0.7.1. Collaborations

Toutes les étapes de la réalisation des chapitres de la présente thèse ont été menées par son auteure, de la conception à la collecte et l'analyse de données, jusqu'à la

rédaction. Or, même s'il a été porté principalement par l'auteure, ce projet de recherche est le fruit de nombreuses collaborations, et l'apport précieux de plusieurs co-auteur(e)s, collègues chercheurs et chercheuses, responsables de laboratoire, aides de laboratoire et aides de terrain est à souligner.

Les co-auteur(e)s listé(e)s dans chacun des chapitres ont apporté des contributions à différents niveaux, soit par un soutien pour l'orientation des stratégies et des méthodes de recherche, soit pour l'analyse et l'interprétation des données, ou encore, avec des conseils et corrections lors de la rédaction.

Marc Lucotte (UQAM) et Robert Davidson (Biodôme de Montréal) sont les principaux co-auteurs des quatre articles de cette thèse. En tant que co-directeurs de l'auteure, ces derniers ont assisté l'ensemble de la réalisation de l'étude, depuis sa conception jusqu'aux nombreuses relectures de la thèse, en passant par la préparation des terrains, le soutien dans les analyses et l'interprétation des données.

Johanne Saint-Charles (UQAM) et Frédéric Mertens (Université de Brasilia) ont directement collaboré aux chapitres 2 et 4. Leur contribution à ces articles provient principalement de leurs importants apports conceptuels et méthodologiques. Plus précisément, ils ont orienté l'auteure pour les aspects sociaux de son projet et lors de la création des outils de collectes de données sociales (questionnaire et grille d'entretien).

Une étroite et constante collaboration a eu lieu avec Jordan Sky Oestreicher, Leandra Fatorelli et Stéphane Tremblay, tous les trois étudiants au doctorat dans le projet PLUPH lors de la réalisation de cette étude. Avec eux, un vaste questionnaire a été conçu à travers un riche processus collaboratif. Ce travail collectif s'est étendu à toutes les étapes de préparation et d'administration du questionnaire, de même que lors de l'entrée et l'extraction des données qui en proviennent. Ces trois personnes

sont donc co-auteur(e)s dans le 4^e chapitre de cette thèse (et je suis également co-auteure de leurs articles respectifs utilisant les données issues de ce questionnaire). Un tel effort collectif visait à réduire la pression et les sollicitations multiples d'entrevues auprès des populations participantes, et à bonifier les travaux de chacun des étudiants chercheurs. L'application de ce questionnaire (auprès de toutes les personnes volontaires de plus de 15 ans des trois communautés d'étude) a constitué un travail d'envergure réalisé conjointement par les quatre doctorants, soutenus par divers aides de terrain amazoniens provenant d'universités des villes de Santarém et d'Itaituba. Cette expérience a constitué une étape riche en apprentissages et a permis d'aborder la réalité de la région d'étude sous différents angles. Même si les données issues de ce questionnaire ont été peu utilisées directement dans les chapitres de la présente thèse, ce travail a certainement permis à l'auteure le développement d'une compréhension beaucoup plus profonde des dynamiques complexes régionales, ce qui a conféré à l'ensemble de son étude un éclairage plus juste.

Les membres du conseil exécutifs du PLUPH (Christina Romaña, Frédéric Mertens, Carlos Passos) apparaissent également comme co-auteurs des articles de la thèse car ils ont participé activement à la conception de l'ensemble du cadre conceptuel du projet dans lequel s'insère cette étude. Ces derniers ont contribué de différentes manières à la réalisation de ce projet par leur implication dans diverses étapes de la recherche, et notamment lors de la préparation des séjours sur le terrain.

Raimundo Cosme de Oliveira Jr. (Embrapa, Santarém) est co-auteur pour les chapitres 1 et 2 car il a fait partie de l'équipe ayant conçu et mis en place les systèmes agroforestiers étudiés. Il a également participé aux réflexions concernant les directions à prendre au cours de l'intervention, et a aussi participé à la relecture et la correction des chapitres.

Claire Vasseur (Biodôme de Montréal) est co-auteure dans les deux premiers chapitres de la thèse, car elle a apporté un soutien important dans les analyses de laboratoire et les réflexions entourant la rédaction et la correction des chapitres. Serge Paquet (GEOTOP-UQAM) a quant à lui contribué aux chapitres 1, 2 et 3 par un apport au niveau des analyses statistiques et de l'interprétation des données, en plus d'offrir un soutien au laboratoire.

0.7.2. Méthodes de collectes et d'analyses de données

Puisque ce projet interdisciplinaire appréhende la pérennité des projets d'intervention sous plusieurs angles d'approche, l'usage de divers types de collectes et d'analyses de données quantitatives et qualitatives a été nécessaire pour mener à bien cette étude. Les méthodes utilisées sont décrites en détails dans les différents chapitres de la thèse, mais un bref aperçu est présenté ci-dessous.

a) Types de données collectées

Pour répondre aux objectifs de l'étude, plusieurs campagnes de collectes de données ont été réalisées dans les villages participants depuis le début du projet en 2008. Les types de collectes de données effectuées au cours de l'étude sont les suivantes :

- Prélèvement d'échantillons de sols (chapitres 1, 2 et 3)
- Mesures de croissance végétale (chapitres 1 et 2)
- Prélèvement de matériel foliaire (chapitres 1 et 2)
- Collectes d'eau de ruissellement et de sédiments (chapitre 3)
- Collectes de données pluviométriques (chapitre 3)
- Collectes d'informations générales sur les sites d'étude (chapitres 2 et 3)
- Entrevues semi-dirigées (chapitres 2 et 4)
- Groupes de discussion (chapitre 4)
- Observation directe (chapitres 2 et 4)

Les méthodes de collectes de données utilisées pour les différents chapitres sont présentées brièvement dans la présente section, et davantage de détails sont fournis dans chacun des chapitres. Les types de données collectées pour chaque chapitre sont résumées dans le tableau 3, et des photos des activités d'échantillonnage sont montrées dans les Annexes D.1 et D.2.

Tableau 3 : Types de données collectées

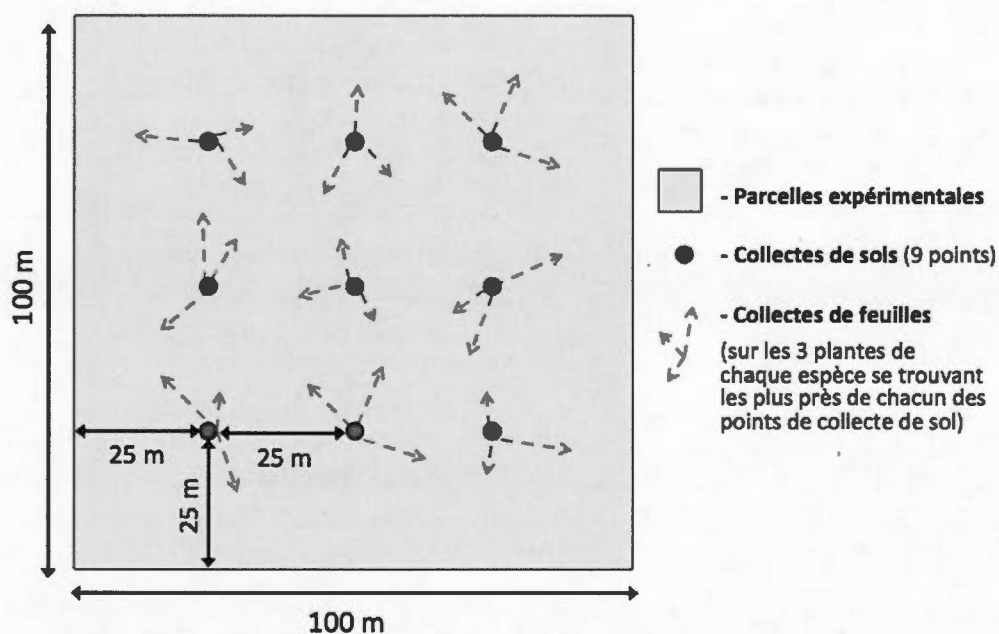
	Objet d'étude	Données collectées	Types
Chap. 1	Analyse comparative du succès des espèces plantées	Caractéristiques physico-chimiques des sols, croissance et survie des plantes, analyses foliaires	Quantitative
Chap. 2	Facteurs influençant le développement des systèmes	Caractéristiques physico-chimiques des sols, croissance et survie des plantes, analyses foliaires, questionnaires, entrevues semi-dirigées, observations de terrain	Qualitative et quantitative
Chap. 3	Érosion des sols et mobilité du Hg et des cations	Caractéristiques des sols et des sites, collectes d'eau de ruissellement, données pluviométriques	Quantitative
Chap. 4	Appropriation de l'intervention	Questionnaires, entrevues semi-dirigées, groupes de discussion, observations de terrain	Qualitative

Chapitres 1 et 2 :

De 2009 à 2013, une évaluation des taux de survie (%) et des mesures de croissance en diamètre basal (mm) et en hauteur (cm) a été faite pour chaque espèce plantées dans les systèmes CF et MU. Du matériel foliaire a également été prélevé afin d'analyser les teneurs en cations (calcium, magnésium, potassium, manganèse, fer et

aluminium) dans les feuilles des différentes espèces. Des échantillons de sols ont été collectés à trois profondeurs (0-5 cm, 20-25 cm et 50-55 cm) dans les parcelles étudiées dans le but de caractériser les propriétés édaphiques des sites où les systèmes ont été implantées (Fig. 7). L'ensemble de ces données ont été utilisées dans les chapitres 1 et 2. En plus de ces données quantitatives, l'usage de données qualitatives (provenant d'entretiens semi-dirigés et d'observations de terrain) a été nécessaire pour répondre aux objectifs du chapitre 2. Ces méthodes de collectes de données qualitatives sont décrites dans la section portant sur le chapitre 4 de la présente introduction de même que directement dans le chapitre 2 en question.

Fig. 7 : Schéma résumant les collectes de sols et de matière végétale

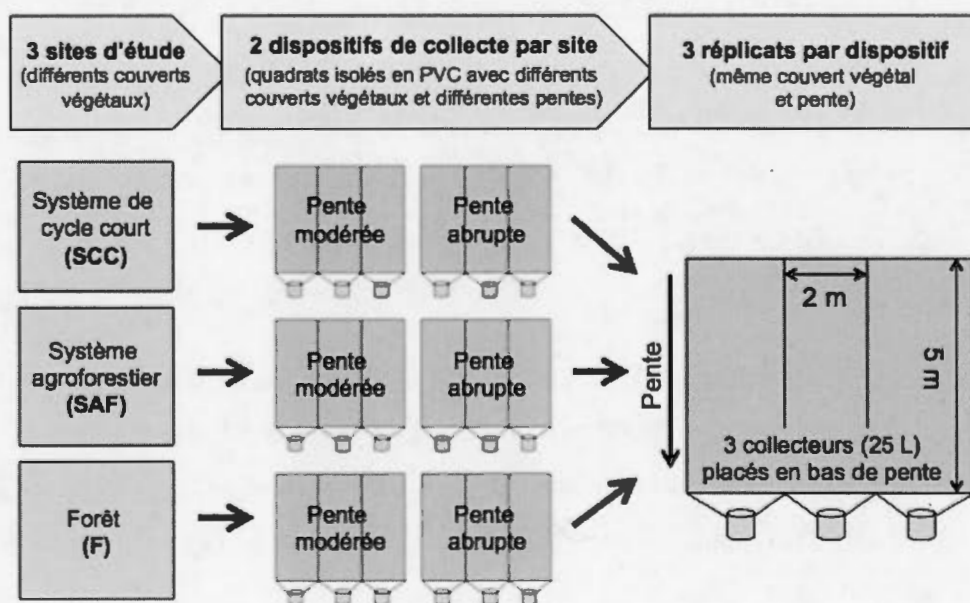


Chapitre 3 :

Le chapitre 3 s'est basé sur des données collectées lors de la saison des pluies de l'année 2011. Des échantillons d'eau de ruissellement ont été prélevés sur trois sites

représentant un gradient de couverture végétales, soit : i) un système de culture de cycle court sur brûlis, ii) un système agroforestier de 2 ans et iii) une forêt mature (Fig. 8). Dans chaque site, des dispositifs d'étude de l'érosion (quadrats isolés de 10 x 6 m faits de PVC) ont été implantées sur deux pentes différentes. Chacun de ces dispositifs était divisé en trois parcelles de 2 x 5 m orientés vers le bas de la pente. Au bout de la partie inférieure de chaque parcelle se trouvait un sceau de 25 L dans lequel a été collectée l'eau de ruissellement après les événements de pluie étudié. Les sites ont été échantillonnés après chacun des 20 événements de pluie s'étant produits au cours d'une période d'un mois, dans le plus fort de la saison des pluies de 2011.

Fig. 8 : Schéma illustrant le dispositif de collecte d'érosion



Chapitre 4

Des collectes de données qualitatives ont été effectuées en différentes étapes (Tableau 4). En 2011, le questionnaire décrit précédemment et élaboré par l'auteure de cette

thèse conjointement avec une équipe de trois autres étudiant(e)s au doctorat a été appliqué. Celui-ci incluait des questions fermées et semi-ouvertes portant sur les caractéristiques sociodémographiques des populations de même que sur différents sujets, notamment sur l'agriculture et l'usage des ressources, les expérimentations agricoles, les perceptions et à la participation au projet (Annexe E.1). Tous les habitants volontaires (> 15 ans) dans les trois villages ont été invités à participer.

Tableau 4. Entrevues réalisées dans les communautés participantes

	Population (n)		Entrevues réalisées (n)*		
	Tot.	> 15 ans	2011	2012	2013 / 2015
São Tomé	106	80	51 (76 %)	7 (4 H et 3 F)	4
Araipá	132	67	51 (64 %)	9 (6 H et 3 F)	---
Nova Estrela	90	58	42 (72 %)	7 (4 H et 3 F)	---
Total d'entrevues	328	205	144 (70 %)	23	4

*Toutes les entrevues ont été effectuées sur une base volontaire avec la population de 15 ans et plus. Les chiffres entre parenthèses dans la colonne 2011 représentent le % de la population totale de chaque village interviewé cette année-là. H = Hommes et F = femmes.

En 2012, 23 entrevues semi-dirigées supplémentaires ont ensuite été menées avec les familles ayant participé étroitement au projet de plantations, afin d'approfondir les échanges au sujet de l'agroforesterie et d'explorer davantage les perceptions des participants par rapport à l'intervention. Cinq thèmes principaux ont été abordés lors de ces entretiens :

- 1) L'historique des sites d'implantation des systèmes expérimentaux
- 2) Le développement et la production des systèmes expérimentaux
- 3) Les perceptions sur les pratiques agricoles et d'agroécologie
- 4) Les perceptions sur le projet d'intervention
- 5) La satisfaction quant à la participation au projet

Enfin, des entrevues semi-dirigées complémentaires ont été réalisées en 2013 et 2015 avec les chefs de ménage des deux familles de São Tomé ayant continué à maintenir leur système, afin de faire un suivi quant au rendement de leur plantation et de connaître leur niveau de satisfaction par rapport au projet. Des entretiens supplémentaires avec les chercheurs et techniciens ont également été réalisées. Les entrevues ont été menées par au moins un étudiant aide de terrain lusophone (natif de la région du Tapajós), et généralement en équipe de deux personnes. Les données collectées avec ces entretiens ont été utilisées dans les chapitres 2 et 4, portant respectivement sur les facteurs influençant le succès des systèmes et sur les processus entourant l'appropriation de l'intervention par les participants. Le guide d'entretien, de même que le document servant à la réalisation des entrevues semi-dirigées effectuées avec les participants au projet sont fournis aux Annexes E.2 et E.3.

Des observations de terrain des membres de l'équipe du PLUPH ayant été consignées dans des rapports des recherches ont également été utilisées dans cette étude. De plus, pour connaître les éléments-clés ayant marqué les communautés participantes d'un point de vue historique, démographique et organisationnel, et pour mieux comprendre les dynamiques d'utilisation des ressources des populations participantes, des groupes de discussion inspirés de la méthodologie de la « ligne du temps » (Guest et coll., 1963) ont été réalisés. La participation était volontaire et l'ensemble de la population (hommes, femmes et enfants) de chaque village a été invité (Tableau 5).

Tableau 5 : Taux de participation aux groupes de discussion

Communauté	Adultes (n)	% de la pop. adulte	Enfants (n)	% de la pop. d'enfants
Araipá	17	20 %	20	36 %
São Tomé	38	57 %	17	43 %
Nova Estrela	11	20 %	11	37 %

b) Analyses et traitement de données

Plusieurs analyses ont été réalisées avec les nombreuses données collectées. Un aperçu de l'ensemble des variables utilisées pour la thèse est présenté ci-dessous, et toutes méthodes d'analyses ainsi que les variables utilisées pour les différents chapitres sont détaillées davantage dans chacun de ceux-ci. Le tableau 6 liste les variables quantitatives utilisées pour les chapitres 1, 2 et 3, le tableau 7 résume les méthodes utilisées pour les analyses de sols et de sédiments.

Tableau 6 : Variables biophysiques analysées pour les chapitres 1 à 3

Chapitre	Type de données	Variables analysées*
Chap. 1	Sols	Densité, % pf, % pg, pH, Ca, Mg, K, Mn, Al, Fe, NO ₃ , NH ₄ , % C, % N, P _{ex} , P _{cdb} , P _{org} , P _{apa}
	Matière foliaire	Ca, Mg, K, Mn, Al, Fe
	Mesures des plantes	% de survie Croissance du diamètre basal / en hauteur
Chap. 2	Sols	Densité, % pf, % pg, pH, Ca, Mg, K, Mn, Al, Fe, NO ₃ , NH ₄ , % C, % N, P _{ex} , P _{cdb} , P _{org} , P _{apa}
	Mesures des plantes	% de survie Croissance du diamètre basal / en hauteur
	Entretiens semi-dirigés	Qualitatif
	Observations de terrain	Qualitatif
Chap. 3	Sols	Densité, % pf, % pg, Ca, Mg, K, Mn, Al, Fe, Hg
	Eau de ruissellement	Ruissellement de surface, perte de particules de sol (densité et totale), perte de Hg, perte de cations

*Pour le nom complet des variables analysées, voir la liste des symboles et des unités au début de cette thèse.

Tableau 7 : Méthodes d'analyses des sols et des sédiments

	Analyse	Méthode	Condition du sol
Sol	Densité du sol	Par pesée et volume	Séché
	Azote disponible (NO ₃ et NH ₄)	Extraction au KCl 2M Mesuré par colorimétrie (TRAACS) (Maynard et Kalra, 1993)	Humide (congelé)
	pH (H ₂ O)	Dilution H ₂ O (1 éch : 4 eau) Mesuré au pH mètre	Séché, tamisé Lyophilisé, percuté
	C et N totaux	Carlo-Erba NC 2500 (Verardo et coll., 1991)	Séché, tamisé Lyophilisé, percuté
	P _{ex} , P _{cdb} , P _{org} , P _{apa}	Extraction séquentielle Mesuré par colorimétrie (TRAACS) (Lucotte et d'Anglejan, 1985)	Séché, tamisé Lyophilisé, percuté
	Fe _{cdb} et Al _{cdb}	Extraction séquentielle Mesuré par absorption atomique (Lucotte et d'Anglejan, 1985)	Séché, tamisé Lyophilisé, percuté
Sol et sédiment	Granulométrie	Méthode Bouyoucos (MEQ, 2003)	Séché et non traité
	Granulométrie pour analyse de mercure	Tamissage humide ≤ 63 µm, 63-210 µm, 210 µm-2 mm (Grandmont, 2001)	Séché et non traité
	Mercure sur fractions sol	Extraction au HNO ₃ /HCl Mesuré par fluorescence atomique (Pichet et coll., 1999)	Séché et non traité
	Mercure total	Extraction au HNO ₃ /HCl Mesuré par fluorescence atomique (Pichet et coll., 1999)	Séché, tamisé Lyophilisé, percuté
	Cations disponibles (Ca, Mg, K, Al, Fe)	Extraction au BaCl ₂ Mesuré par absorption atomique (Hendershot et coll., 1993)	Séché, tamisé Lyophilisé, percuté

* Tableau adapté du guide pour l'analyses de sols amazoniens (Rheault et coll., 2007)

Pour répondre aux objectifs du chapitre 3, les des indicateurs d'érosion, tels que le volume d'eau de ruissellement, les particules érodées du sol, leurs concentrations en Hg et en cations, ainsi que les pertes totales de Hg et de cations ont été déterminées à partir des mesures et calculs présentés dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Indicateurs d'érosion

Indicateurs d'érosion		Mesures/calculs
Ruissellement de surface	Volume d'eau de ruissellement (L/m ²)	Litres d'eau mesurés dans les sceaux d'échantillonnage / 10
Perte de particules de sol	Densité des partic. érodées (g/L)	g de sol dans 1 L d'eau de ruissellement
	Perte totale de sol par m ² (g)	(g de sol/L d'eau x L dans sceau) / 10
Perte de Hg	[Hg] sur les partic. érodées (ng/g)	Hg analysé sur 1 g de particules érodées
	Perte totale de Hg (ng)	ng/g analysé x g de particules érodées dans le sceau
Perte de cation	[Cation] sur partic. érodées (cmol/kg)	cmol de cations analysées sur les particules érodées
	Perte totale de cations (cmol)	(cmol de cations/kg de particules érodées) x g de particules érodées dans sceau / 1000

La plupart des analyses de sols, de matériel foliaire et de sédiments ont été effectuées dans les laboratoires du GEOTOP-UQAM, sauf les analyses de pH, les extractions de cations disponibles dans les sols, ainsi que les fractionnements granulométriques effectués avec la méthode Bouyoucos, qui ont été faits au Biodôme de Montréal.

Le traitement des données quantitatives et les analyses statistiques ont été faits avec le logiciel JMP – versions 7.0.1 et 10 (SAS Institute), à l'exception des analyses de

correspondance (CA), qui ont été effectuées avec le programme Canoco 4.56 (Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA). Toutes les figures ont été créées avec Kaleidagraph 4.1.2 (Synergy Software Reading, PA, USA).

Données qualitatives

Les données qualitatives provenant des entretiens semi-dirigés ont été analysées manuellement avec une approche thématique inductive qui a mené à l'identification des principaux thèmes ayant émergé des verbatims d'entrevues (Blais et Martineau, 2007). Cette approche d'analyse est pertinente dans le cadre du présent projet puisqu'elle permet de mettre en lumière les différents patrons de pensées et représentations existants parmi les communautés d'étude (Fallery et Fodhain, 2013).

Les programmes Open Office 4.0 (Apache, 2015) et MySQL 5.7 (Oracle, 2012) ont été utilisés pour construire la base de données dans laquelle ont été enregistrées manuellement toutes les informations provenant du questionnaire commun.

0.7.3. Retour des résultats aux communautés

Le présent projet n'aurait pu être possible sans la participation volontaire et généreuse des habitants des communautés participantes. En plus de l'implantation et l'entretien des systèmes expérimentaux, de nombreuses collectes de données ont été effectuées de pair avec plusieurs assistants locaux. De plus, les populations locales ont été sollicitées régulièrement pour participer à des entrevues et des rencontres tout au long du projet. Pour notre équipe, la divulgation des résultats aux personnes ayant permis la réalisation de la recherche constituait donc une priorité. Ainsi, lors des séjours sur le terrain, une série d'activités (ex : groupes de discussion, réunions d'information, visites éducatives des plantations, etc.) ont été organisées dans l'objectif de partager les acquis et apprentissages de la recherche, permettant ainsi de créer un espace

d'échange et de dialogue entre les chercheurs et les participants. Ces activités participatives sont apparues essentielles au maintien d'une relation de confiance avec les populations locales.

Parmi les différentes activités de partage des connaissances réalisées, un séjour visant exclusivement le retour des résultats finaux a été effectué au cours du mois de mars 2015. Une bande dessinée éducative vulgarisant l'ensemble des fruits du projet a été conçue conjointement par l'auteure de cette thèse, Sky Oestreicher et Stéphane Tremblay, soutenus par d'autres membres de l'équipe. Par souci d'adopter un langage et un message adaptés aux réalités de la région, ce matériel été élaboré en collaboration avec des natifs lusophones originaires de l'Amazonie. La bande dessinée a été créée dans le but de présenter d'une manière intégrée et intéressante les principaux résultats du PLUPH, tout en se rapprochant des préoccupations des communautés ayant participé au projet. Ainsi, en suivant les personnages de João, Maria et de leur fille Isabel dans un parcours sur leur terre, les lecteurs passent par différents paysages significatifs pour les populations locales, tels que la forêt, le champ, les cours d'eau, les pâturages, et enfin, le système agro-forestier, pour explorer les différents points positifs et négatifs qui leurs sont associés. Avec une approche positive et ludique, la bande dessinée aborde différents concepts théoriques, tels que la diversification des pratiques, la résilience ou encore les liens entre la santé et l'environnement, d'une manière tangible pour les participants. De plus, se voulant constituer un outil utile pour les communautés après la fin du projet, la bande dessinée rassemble également une liste de contacts et ressources pertinentes pour les populations locales dans les domaines de l'agriculture, de l'environnement et de la santé.

Ce matériel a été utilisé comme base pour l'animation d'ateliers participatifs au cours desquels les habitants des communautés locales étaient invités à prendre le rôle des différents personnages de la bande dessinée. Les ateliers ont été construits de manière

à alterner entre des moments interactifs d'animation et de théâtre et des moments plus formels où les conclusions importantes du projet PLUPH étaient présentées et discutées. Des photos des différentes activités de retour aux communautés sont montrées à l'Annexe F, et la bande dessinée complète est disponible à l'Annexe G.

0.8. Références

- Abad-Franch, F., Palomeque, F.S., Aguilar, V.H.M. et Miles, M.A. (2005). Field ecology of sylvatic *Rhodnius* populations (Heteroptera, Triatominae): risk factors for palm tree infestation in western Ecuador. *Tropical Medicine and International Health*, 10 (12) : 1258-1266.
- Alfaia, S.S., Ribeiro, G.A., Nobre, A.D., Luizão, R.C. et Luizão, F.J. (2004). Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazônia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 102 (3) : 409-414.
- Almeida, A.L.O. et Campari, J.S. (1995). *Sustainable Settlement in the Brazilian Amazon*. Oxford: Oxford University Press.
- Altieri, M.A. et Nicholls, C.I. (2012). « Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency ». Dans *Sustainable Agriculture Reviews*, 11, Lichtfouse (Ed.), p. 1-29, Springer.
- Apache. (2015). OpenOffice.
- Bauch, S.C., Birkenbach, A.M., Pattanayak, S.K. et Sills, E.O. (2015). Public health impacts of ecosystem change in the Brazilian Amazon. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (24) : 7414 -7419.
- Béliveau, A. Lucotte, M., Davidson, R. et Paquet, S. (2009). Early Hg mobility in cultivated tropical soils one year after slash-and-burn of the primary forest, in the Brazilian Amazon. *Science of the Total Environment*, 407 : 4480-4489.
- Benhin, J.K.A. (2006). Agriculture and Deforestation in the Tropics: A Critical Theoretical and Empirical Review. *Ambio*, 35 (1) : 9-16.
- Blais, M. et Martineau, S. (2007). L'analyse inductive générale : description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes. *Recherches Qualitatives*, 26 (2) : 1-18.
- CARUSO. (2016). Site web du projet Caruso.
https://unites.uqam.ca/gmf/caruso/caruso_home.htm

- Christanty, L. (1986). « Shifting Cultivation and Tropical Soils: Patterns, Problems and Possible Improvements ». Dans *Traditional Agriculture in Southeast Asia: A Human Ecology Perspective*, sous la direction de G.G. Marten, Boulder, USA : Westview Press, p. 226-240.
- Coura, J.R. (2010). Review Chagas disease: 100 years after its discovery. A systemic review. *Acta Tropica*, 115 : 5-13.
- Coura, J.R. (2010). The main sceneries of Chagas disease transmission. The vectors, blood and oral transmissions - A comprehensive review, *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 110 (3) : 277-282.
- Cunha, T.J.F., Madari, B.E., Canellas, L.P., Ribeiro, L.P., Benites, V.M. et Santos, G.A. (2009). Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de índio) in the Brazilian Amazon basin. *R. Bras. Ci. Solo*, 33 : 85-93.
- de Mello, N.A. et Théry, H. (2003). L'État brésilien et l'environnement en Amazonie : évolutions, contradictions et conflits. *L'Espace Géographique* 1 : 3-20.
- de Oliveira, M.S.P. et Neto, J.T.F. (2004). *Cultivar BRS-Pará: Açaizeiro para Produção de Frutos em Terra Firme*. Comunicado técnico 114, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, 3 p.
- de Sartre, X.A., Albaladejo, C., Martins, P, Veiga, I. et Grimaldi, M. (2005). Identification et évaluation de la diversité des modes d'exploitation des milieux en Amazonie orientale. *Cahiers Agricultures*, 14 : 85-89.
- Fallery, B. et Rodhain, F. (2013). Quatre approches pour l'analyse de données textuelles : lexicale, linguistique, cognitive, thématique. XVI^{ème} Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique AIMS, 2007, Montréal, Canada. AIMS, p. 1-16.
- Farella, N, Davidson, R., Lucotte M. et Daigle, S. (2007). Nutrient and mercury variations in soils from family farms of the Tapajós region (Brazilian Amazon) : Recommendations for better farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120 : 449-462.
- Farella, N, Davidson, R., Lucotte, M. et Daigle, S. (2006). Mercury release from deforested soils triggered by cation enrichment. *Science of the Total Environment*, 368 : 19-29.

- Farella, N. 1998. Impacts du déboisement sur les sols et les sédiments de la région du Rio Tapajós (Amazonie brésilienne) illustrés par des biomarqueurs. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de l'environnement, Montréal, Université du Québec à Montréal, 179 p.
- Fearnside, P.M. (2001). Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation*, 28 (1): 23-28
- Fearnside, P.M. (1999). Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forests: risks, value and conservation. *Environmental Conservation*, 26 : 305-321.
- Fillion, M., Mergler, D., Passos, C.J.S., Larribe, F., Lemire, M. et Guimarães, J.R.D. (2006). A preliminary study of mercury exposure and blood pressure in the Brazilian Amazon. *Env Health*, 5 : 29.
- Galvão, E.U.P, Cravo, M.S., Nogueira, O.L. et Shimizu, M.K. (2008). *Sistema Bragantino para a Agricultura Familiar. Passo a passo*. Embrapa Amazônia Oriental, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Belém, PA, 38 p. Disponible en ligne : http://www.cpatu.embrapa.br/publicacoes_online
- Grandmont, É. (2001). *Analyse des teneurs en mercure sur différentes fractions granulométriques de sols amazoniens. Version révisée*. Activité de synthèse. Université du Québec à Montréal. Montréal, 13 p.
- Guest, G., Namey, E.E. et Mitchell, M.L. (2013). Collecting qualitative data : a field manual for applied research. États-Unis : SAGE Publications, 376 p.
- Harada, M., Nakanishi, J., Yasoda, E., da Conceição, M., Pinheiro, N., Oikawa, T., Guimarães, G. de A., Cardoso, B. da S., Kizaki, T et Ohno, H. (2001). Mercury pollution in the Tapajos River basin, Amazon Mercury level of head hair and health effects. *Environment International*, 27 : 285-290.
- Hendershot, W.H., Lalande, H et Duquette, M. (1993). « Ion exchange and exchangeable cations ». Dans *Soil sampling and methods of analysis*, sous la direction de M.R. Carter, USA : Lewis Publishers, p. 167-176.
- Laurance, W.F. (2000). Mega-development trends in the Amazon: implications for global change. *Environmental monitoring and assessment*, 61: 113-122.
- Lebel, J., Roulet, M., Mergler, D., Lucotte, M. et Larribe, F. (1997). Fish diet and mercury exposure in a riparian Amazonian population. *Water, Air and Soil Pollution*, 97 : 31-44.

- Lima, H.N., Schaefer, C.E.R., Mello, J.W.V., Gilkes, R.J. et Ker, J.C. (2002). Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") of Western Amazonia. *Geoderma*, 110 : 1-17.
- Lojka, B., Preininger, D., Van Damme, P., Rollo, A. et Banout, J. (2012). Use of the Amazonian tree species *Inga edulis* for soil regeneration and weed control. *Journal of Tropical Forest Science*, 24 (1) : 89-101.
- Long, A.J. et Nair, P.K.R. (1999). Trees outside forests: agro-, community, and urban forestry. *New Forests*, 17 : 145-174.
- Lucotte, M. et d'Anglejan, B. (1985). A comparison of several methods for the determination of iron hydroxides and associated orthophosphates in estuarine particulate matter. *Chemical Geology*, 48 : 257-264.
- Mahar, D.J. (1989). *Government policies and deforestation in Brazil's Amazon region*. The World Bank, Washington, (D.C.), 56 p.
- Margulis, S. (2004). *Causes of Deforestation of the Brazilian Amazon*. World Bank Working Paper no 22, Washington, DC, 77 p.
- Maynard, D.G. et Kalra, Y.P. (1993). « Nitrate and exchangeable ammonium nitrogen ». Dans *Soil Sampling and Methods of Analysis*, sous la direction de M. R. Carter, p. 25-38. U.S.A.: Lewis Publishers.
- McGrath, D.A., Smith, K.C., Gholz, H.L. and Oliveira, F. de Assis (2001). Effects of Land-Use Change on Soil Nutrient Dynamics in Amazônia. *Ecosystems*, 4: 625-646.
- Mergler, D., Anderson, H.A., Chan, L.H.M., Mahaffey, K.R., Murray, M., Sakamoto, M et Stern, A.H. (2007). Methylmercury Exposure and Health Effects in Humans: A Worldwide Concern. *Ambio*, 36 (1) : 9 p.
- MEQ – Ministère de l'Environnement du Québec. (2003). *Méthode d'analyse. Détermination de la granulométrie dans les sols agricoles et les sédiments : méthode Bouyoucos*. Édition 2003-12-11. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Québec, 16 p.
- Microcomputer Power. Canoco 4.56. Statistics software. Ithaca, NY, USA.
- Oestreicher, J.S. (2011). Carte de la région d'étude

Oestreicher, J.S. (2016). Dimensions socio-écologiques des changements de paysage et des moyens de subsistence dans la région de la rivière Tapajós (Amazonie brésilienne) : Exposition des populations humaines au mercure et à l'agent pathogène de la maladie de Chagas. Thèse présentée comme exigence partielle du doctorat en sciences de l'environnement, Montréal, Université du Québec à Montréal, 513 p.

Oracle (2012). MySQL.

Passos, C.J.S., Sampaio, D., Lemire, M., Fillion, M., Guimarães, J.R.D., Lucotte, M. et Mergler, D. (2008). Daily mercury intake in fish-eating populations in the Brazilian Amazon. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 18 : 76-87.

Pichet, P., Morrison, K., Rheault, I. et Tremblay, A. (1999). « Analysis of total mercury and methylmercury in environmental samples ». Dans *Mercury in the biogeochemical cycle*, sous la direction de Marc Lucotte, C. Langlois et A. Tremblay, p. 41-52. Berlin : Springer.

PLUPH. (2016). Site web du projet *Poor Land Use, Poor Health*.
www.pluph.uqam.ca.

Rassi Jr., A., Rassi, A. et Marin-Neto, J.A. (2010). Chagas disease. *The Lancet*, 375 : 1388-1402.

Rheault, I., Chen, S., Béliveau, A. et Patry, C. (2007). *Guide d'échantillonnage et des méthodes analytiques utilisées pour les sols provenant du Brésil*. GEOTOP-UQAM. Université du Québec à Montréal, Montréal, 21 p.

Romaña, C., Emperaire, L. et Jansen, A.M. (2003a). Conceptual approaches and methodological proposals for the study of interactions between environment and health: application to a research program on American trypanosomiasis. *Cadernos de Saúde Pública*, 19 (4) : 945-953.

Romaña, C.A., Pizarro, J.C.N., Rodas, E. et Guilbert, E. (2003b). Palm trees as ecological indicators of risk areas for Chagas disease. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 93 (6) : 594-595.

Roulet, M., Lucotte, M., Farella, N., Serique, G., Coelho, H., Passos, C.J.S., Silva, E. de Jesus da, Scavone de Andrade, P., Mergler, D. et Amorim, M. (1999). Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution*, 112 : 297-313.

- Rozon, C., Lucotte, M., Davidson, R., Oestreicher, J.S., Paquet, S., Mertens, F., Passos, C. et Romana, C.A. (2015). Spatial and temporal evolution of land use in the Tapajós region of the Brazilian Amazon. *Acta Amazonica*, 45 (2) : 203-214.
- SAS Institute. (2003). JMP – versions 7.0.1 and 10. Computer statistical software. Cary, NC, USA.
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd Edition*. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, Washington D.C., 871 p.
- Synergy Software Reading. Kaleidagraph 4.1.2. PA, USA.
- Valadão, L. (2009). O papel das lideranças comunitárias em projetos de saúde e ambiente: uma análise das redes sociais em comunidades do Rio Tapajós, Pará. Dissertação de Mestrado de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 81 p.
- Verardo D.J, Froelich, P.N. et McIntyre, A. (1990). Determination of organic carbon and nitrogen in marine sediments using the Carlo-Erba NA-1500 analyzer. *Deep-Sea Res.*, 37 (1) : 157-165.

CHAPITRE I

PLANT SURVIVAL, GROWTH AND NUTRITIONAL REQUIREMENTS OF AGROFORESTRY SYSTEMS IMPLEMENTED IN FAMILY FARMS OF THE BRAZILIAN AMAZON

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Vasseur, C.; Paquet, S.;
de Oliveira, R.C.; Mertens, F.; Passos, C.J. et Romana, C.A.

(Cet article sera soumis à *Agroforestry systems*)

Plant survival, growth and nutritional requirements of agroforestry systems implemented in family farms of the Brazilian Amazon

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Paquet, S.; Vasseur, C.; de Oliveira, R.C.; Mertens, F.; Passos, C.J. and Romana, C.A.

Abstract

Agroforestry is currently considered a promising alternative for slash-and-burn cultivation in rural regions of the Amazon, but the development of plant consortiums implemented in rudimentary farming context still need to be documented. This study aimed at assessing the success of agroforestry systems that were implemented *in situ* in family farms of the Brazilian Amazon, and at determining which of the selected species were better adapted to local conditions, through a comparative analysis of plant survival, development and nutrition. Four plant consortiums composed of native (acai palms, andiroba, Brazil nut, soursop, araza and ice-cream bean trees and pineapple plants) and exotic species (mango, orange, Barbados cherry and plantain trees) were implemented in 2009. Species survival rate (%), basal diameter growth (mm) and total height growth (cm) were determined for four years. Foliar cation contents (calcium, magnesium, potassium, manganese, iron and aluminum) were also analyzed, and soil properties in studied plantation areas were characterized. It was showed that andiroba and Brazil nut trees had the highest survival rates as well as low nutrient requirements, and were the best adapted to local conditions. Moreover, despite its considerable initial mortality, araza tree was considered a good selection since it had the lowest nutrient requirements of all planted species. In contrast, Barbados cherry and orange trees had high nutrient requirements, which indicates that they should be preferably planted in richer soils. More caution was recommended with acai palm and soursop tree, since they had the lowest survival rates of all planted species. This project also highlighted that, for most species (except soursop), most mortality occurred at early stages after transplant (< 1 year), but that subsequent survival rates then remained stable. In addition, few relationships were found between plant success and soil properties, suggesting that factors other than edaphic ones had a predominant influence on plant development.

Key words:

Agroecology, plant consortium, Amazon, native species, plant development, foliar cations, soil properties.

Survie, croissance et exigences nutritionnelles dans des systèmes agroforestiers implantés sur des fermes familiales de l'Amazonie brésilienne

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Paquet, S.; Vasseur, C.; de Oliveira, R.C.; Mertens, F.; Passos, C.J. et Romana, C.A.

Résumé

L'agroforesterie est actuellement perçue comme étant une alternative prometteuse à l'agriculture sur brûlis dans les régions rurales de l'Amazonie, mais le développement de consortiums agroforestiers implantés en contexte d'agriculture de subsistance doit toujours être documenté. Cette étude visait à évaluer le succès de systèmes agroforestiers implantés *in situ* dans des fermes familiales de la région du Tapajós (Amazonie brésilienne), et plus précisément, à déterminer quelles espèces sélectionnées étaient mieux adaptées aux conditions locales, par une analyse comparative de leur survie, de leur développement et de leur statut nutritionnel. Quatre consortiums composés d'espèces indigènes (açaï, andiroba, noix du Brésil, corossolier, araza, pois doux et ananas) et exotiques (manguier, oranger, acérola et plantain) ont été implantés en 2009. Pour chaque espèce, les taux de survie (%) ainsi que la croissance du diamètre basal (mm) et en hauteur (cm) ont été déterminés pendant quatre ans. De plus, les teneurs en cations foliaires (calcium, magnésium, potassium, manganèse, fer et aluminium) ont été analysées, et les propriétés du sol dans les sites de plantations ont également été caractérisées. Les résultats montrent que l'andiroba et la noix du Brésil ont les meilleurs taux de survie ainsi qu'une faible exigence en nutriments, et sont les mieux adaptés aux conditions locales. En outre, en dépit de sa mortalité initiale relativement élevée, l'araza est considéré comme un bon choix en raison de sa faible demande de nutriments, inférieure à celle des autres espèces plantées. Par contraste, les acérolas et les orangers présentent des besoins supérieurs en éléments nutritifs, indiquant que ces espèces devraient être plantées de préférence dans des sols plus riches. L'açaï et le corossolier sont les moins recommandées en raison de leur taux de survie le plus faible de toutes les espèces plantées. Pour la plupart des espèces (sauf le corossolier), la plupart de la mortalité s'est produite à un stade précoce suivant la transplantation, mais les taux de survie se sont stabilisés ultérieurement. Les faibles relations trouvées entre le développement des plantes et les propriétés du sol suggèrent que des facteurs autres qu'édaphiques ont eu une influence prépondérante sur le succès des systèmes étudiés.

Mots-clés :

Agroécologie, consortiums de plantes, Amazonie, espèces indigènes, développement, cations foliaires, propriétés des sols.

**Sobrevivência, crescimento e exigências nutricionais das plantas
em sistemas agroflorestais implementados em lotes de agricultura familiar
na Amazônia Brasileira**

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Paquet, S.; Vasseur, C.; de Oliveira, R.C.;
Mertens, F.; Passos, C.J. e Romana, C.A.

Resumo

A prática da agroflorestaria é atualmente considerada uma alternativa promissora ao cultivo de corte e a queima nas regiões rurais da Amazônia, mas o desenvolvimento de consórcios de plantas que misturam espécies nativas e exóticas implementados num contexto da agricultura familiar ainda precisa ser documentado. Este estudo teve como objetivo avaliar o sucesso de sistemas agroflorestais implementados em lotes de agricultura familiar da região do rio Tapajós (Amazônia Brasileira), e mais especificamente determinar quais espécies, entre as selecionadas, foram mais adaptadas às condições locais. Para isso, uma análise comparativa da sobrevivência, do crescimento e da nutrição das plantas foi utilizada. Quatro consórcios, compostos de plantas nativas da Amazônia (andirobas, castanhas-do-pará, gravioleiras, araçás-boi, palmeiras de açaí, abacaxis e ingás-de-metro) e exóticas (mangueiras, laranjeiras, aceroleiras e bananeiras) foram implementados em 2009. As taxas de sobrevivência das espécies (%), o crescimento em diâmetro basal (em mm) e em altura total (em cm) foram determinadas por um período de quatro anos. A quantidade de cátions foliares (cálcio, magnésio, potássio, manganês, ferro e alumínio) foi quantificada, assim que as propriedades dos solos nas áreas onde foram implementados os plantios. Andirobas e castanheiras foram as árvores que melhor responderam às condições locais. Além disso, apesar da sua relativamente importante mortalidade inicial, o araçá-boi foi considerado uma boa espécie devido às suas baixas exigências nutricionais, as mais baixas de todas as espécies plantadas. Por outro lado, aceroleiras e laranjeiras tiveram altas demandas de nutrientes, o que indica que elas devem ser de preferência plantadas em solos mais férteis. É recomendado um maior cuidado com as palmeiras de açaí e as gravioleiras, pois estas tiveram as menores taxas de sobrevivência entre todas as espécies plantadas. Destaca-se também que para a maioria das espécies (à exceção das gravioleiras), a maior mortalidade ocorreu nas fases iniciais após o transplante e que as taxas de sobrevivência estabilizaram nos anos subsequentes. Além disso, neste estudo, foi documentada fraca relação entre o desenvolvimento das plantas e as propriedades dos solos, indicando que fatores adicionais tiveram uma influência predominante sobre o sucesso dos plantios.

Palavras chaves:

Agroecologia, consórcio de plantas, Amazônia, espécies nativas, desenvolvimento das plantas, cátions foliares, propriedades dos solos.

1. Introduction

In the Brazilian Amazon, increased human presence is causing profound transformations of regional landscapes and lifestyles. Among the various cycles of resource exploitation that have led to tropical forest clearing (Rodrigues et al., 2009), small-scale agriculture has become one of the main causes of deforestation (Margulis, 2004; Le Tourneau and Bursztyn, 2010). Indeed, encouraged by governmental policies and economic incentives, thousands of farming families principally originating from the Northeast region of Brazil have migrated to the Amazon over the last decades (De Mello and Théry, 2003). Most family farmers in the Amazon produce subsistence short-cycle crops such as cassava (*Manihot esculenta*), corn (*Zea mays* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) after having slashed-and-burnt the forest (De Sartre et al., 2005). Slash-and-burn is a very popular practice as it is an efficient way to clear and temporarily fertilize the land (Christanty, 1986) through the input of cation-rich ashes coming from the burnt vegetation (Nye and Greenland, 1964). However, population densification has led to the intensification of this method, leading to serious environmental and social impacts (Siren, 2007; Christanty, 1986). Nutrients coming from forest combustion are rapidly flushed away (Béliveau et al., 2015; McGrath et al., 2001) by the intense precipitations characterizing the region (Chapter 3), which eventually leads to a marked decline in soil fertility. Thus, family farmers generally use the same field only one or two years before converting other forest areas into arable lands, perpetuating the deforestation cycle (Pasquis and de Oliveira, 2007).

Agricultural practices inspired by agroecological principles constitute promising alternatives for family farmers of the rural tropics (Altieri and Nicholls, 2012). In addition to increasing family farm diversification and income and to improving yields stabilization, food security and empowerment, agroecology contributes to maintaining environmental integrity (Altieri and Toledo, 2011; Altieri and Nicholls,

2012). Among other types of agroecological practices, agroforestry is particularly appreciated for erosion control and soil conservation (Chapter 3), as well as for its nutritional benefits and economic returns (Long and Nair, 1999; Semedo and Barbosa, 2007). However, plant survival, development and nutrition are influenced by numerous factors, and plantation success varies according to the adaptation of selected species to the environment in which they were implemented (Batista and Woessner, 1980; Calvo-Alvarado et al., 2007).

Most studies focusing on agroforestry outcomes in the Amazon region have dealt with commercial crops or controlled experimental farms. This project thus intended to test the feasibility of agroforestry systems implemented *in situ* in a subsistence farming context in rural Amazon. The main objective of this paper is to distinguish, through a comparative analysis of plant survival, development and nutrition, which of the selected species were the most adapted to local conditions. The studied systems were composed of a mix of native and exotic species. The selected native species were andiroba (*Carapa guianensis*), Brazil nut (*Bertholletia excels*), soursop (*Annona muricata*), araza (*Eugenia stipitata*) and ice-cream bean (*Inga edulis*) trees, as well as acai palms (*Euterpe oleracea*) and pineapples (*Ananas comosus*). Mango (*Mangifera indica*), orange (*Citrus sinensis*) and Barbados cherry trees (*Malpighia glabra*) as well as plantain (*Musa sp*) were the exotic species. This study was part of a larger research-action initiative assessing alternative agricultural models that may reduce farmers' dependence on non sustainable land use practices (PLUPH, 2016).

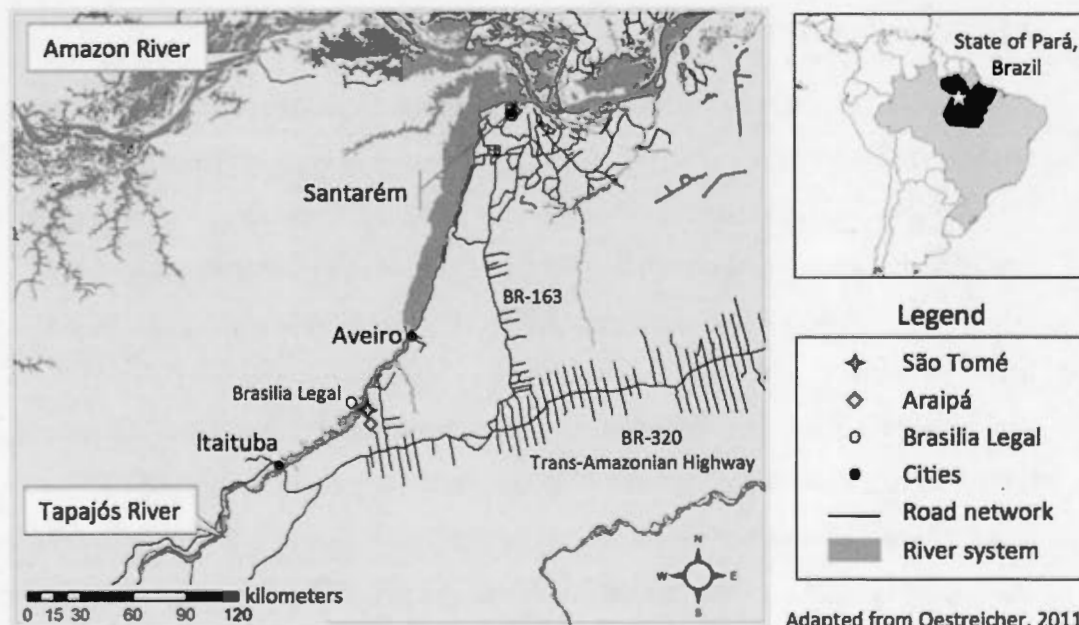
2. Methods

2.1. Study region

This study was carried out in the lower Tapajós region, in the State of Pará (Eastern Amazon, Brazil) (Fig. 1). Data collection took place in the two rural villages of São

Tomé and Araipá, located in the vicinity of Brasília Legal (in the municipality of Aveiro) in which subsistence agriculture and fishing are the main activities. The studied villages had quite distinct demographic, socio-economic and environmental characteristics. São Tomé, located near the Tapajós River ($03^{\circ}99' \text{ S} - 55^{\circ}57' \text{ W}$), is constituted of families originating mostly from the state of Pará, and will be thereafter referred as T (for “traditional”) in this paper, while Araipá, located farther off the river at the end of a lake ($04^{\circ}03' \text{ S} - 55^{\circ}54' \text{ W}$) and constituted of families of mixed-origin (Pará and Northeast States), will be referred as M (for “mixed-origin”). In the region, landscapes have already been widely altered due to agricultural activities, cattle ranching and timber extraction, and the rate of deforestation is expected to increase with the paving of the nearby BR-163 Santarém-Cuiabá highway (Margulis, 2004; Nepstad et al., 2000; Coelho et al., 2013). In both studied communities, land properties have been considerably impacted by slash-and-burn over the last decades (Rozon et al., 2015).

Fig. 1: Map of the study region



Soils are mostly classified as Oxisols and Ultisols (Soil Survey Staff, 1999) or Latossolos and Argissolos according to the Brazilian classification (Embrapa Amazônia Oriental, 2007). They are characterized by a highly weathered mineral horizon consisting mostly of iron and aluminum oxide-rich clays (Roulet and Lucotte, 1995; Roulet et al., 1998) with a thin organic horizon, as well as by a marked nutrient depletion and high acidity (Jordan, 1985). Soil erosion was observed in the studied communities, especially in areas with partial vegetation cover (Chapter 3). Climate in the Tapajós region is classified as “Am” (A = tropical climate, m = Monsoon rainfall regime) according to the Köppen-Geiger classification (Peel et al., 2007). Pluviometry ranged from 2050 to 2720 mm from 2008 to 2012 at the Itaituba meteorological station (INMET, 2015). The area is characterized by a marked dry season, distinctly to other parts of the Amazon (Fitzjarrald et al., 2008).

2.2. Agroforestry system implementation

2.2.1. Plantation site selection

Two types of experimental agroforestry systems, representing a total of 4 plots (2 replicas for each type of system), were implemented in each of the two studied communities, with the collaboration of local families. Volunteer farmers suggested a few potential sites on their land that could be suitable to establish agroforestry systems. Easily accessible areas of at least 110 m x 110 m were needed. Selected sites had to be fallows rather than mature forests in order to facilitate site preparation and subsequent plantation maintenance as well as for leaving primary forest untouched. Sites also had to be representative of what is generally found in the region, and thus, areas that had uncommon characteristics, such as *terras pretas do Índio*, the fertile anthropogenic black earths existing in patches in the Amazon (Cunha et al., 2009; Lima et al., 2002), were excluded. The selected sites were all 3 to 5 year-old fallows

that had been previously under cultivation of short-cycle crops, principally cassavas (*Manihot esculenta*), but also corn (*Zea mays* L.) and rice (*Oryza sativa* L.). The São Tomé sites had sandy-clay and heavy clay soils, while the two Araipá sites had sandy/sandy loam and clay/sandy textures (Soil Survey Staff, 1999).

2.2.2. Plantation design

The two types of plantations were designed in close collaboration with participating farmers. Multi-purpose tree systems (MP) were composed of a mix of silvicultural and fruit species, and were designed to provide a closed vegetation layer attaining 15 meters at maturity that would eventually produce shade. Orchard fruit tree plantations (OF) would reach a height of 4 to 5 meters (Table 1). Each type of plantation was implemented in duplicate, one type in each study community. In the current paper, experimental systems will be referred to as the type of plantation (MP or OF), followed by the abbreviation of the community where it was implemented (T or M).

a) Plant species selection

Species used in experimental plantations were chosen according to the scientific advice of the Brazilian Agricultural Research Corporation (*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* – Embrapa) and participant's interest, taking into account plant nutritional value as well as agricultural, ecological, economic and social aspects. Villager's knowledge about species culture and requirements, uses, and local and regional market were examined in community meetings. In addition, respondents' enthusiasm and curiosity about some less common species were noted (Chapter 4). Based on a combination of scientific considerations, technical possibilities and farmers' opinions, seven native plant species as well as four exotic species (Smith et al., 1992) were selected (Table 1). Among these species, ten were

perennial trees. Pineapple (*Ananas comosus*, Perola variety, native) was also included as a short-cycle crop that could provide a potential early income for participating families. Acai palm “BRS Pará” (*Euterpe oleracea*, a native species) is an improved variety developed by Embrapa, which is characterized by higher fruit yields at lower height (de Oliveira and Neto, 2004). This variety was expected to be better adapted to well-drained soils than common acai palms, which grows in humid soils (de Oliveira, 2002). Brazil nut trees (*Bertholettia excelsa*, native) were grafted and were thus expected to produce more rapidly than forest specimens (Chavez, 2007). Orange trees (*Citrus sinensis*, Beira-rio variety, exotic) were also grafted on *Citrus limonia*. Araza (*Eugenia stipitata*, native) was not a well known fruit in the communities but participants expressed a curiosity for the species (Chapter 4). Furthermore, ice cream bean tree (*Inga edulis*, native) was also included since it is a nitrogen-fixing legume that could serve as green manure. Overall, the systems were designed to begin producing within a few months, with pineapple and plantain (*Musa sp.*, Chifre de boi variety, exotic). Araza and Barbados cherry (*Malpighia glabra*, exotic) trees would produce from the second year, and acai palm, mango (*Mangifera indica*, Keitt variety, exotic), soursop (*Annona muricata*, native) and orange trees would then begin producing from the third year. Finally, andiroba and Brazil nut could provide longer-term products and income for participating families.

Table 1. Orchard fruit tree (OF) and multi-purpose tree (MP) system composition

Plant name		Production	System	Plant characteristics and uses		
English*	Brazilian				Latin	
Native	Brazil nut tree (Bn)	Castanha do-Pará	<i>Bertholletia excelsa</i>	Fruit (7-9 yrs)	MP	Feeding (nuts), shade, construction, fuel, medicinal uses, craft ^{1,3,5,8,9,11} , Nutritional benefits (selenium ¹² , proteins ¹¹), timber, reforestation ¹² , cosmetics ¹² , good economic value and demand ^{13,11,14}
	Andiroba tree (An)	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i>	Oil (6 yrs) Wood (10 yrs)	MP	Traditional use ^{1,8,6,17} , Timber ^{18,19} , fuel ⁸ , cosmetics and medicinal ^{5,17,9} , insect repellent ^{5,15,17} , high demand and good economic value ¹⁴
	Soursop tree (Ss)	Graviola	<i>Annona muricata</i>	Fruit (3-4 yrs)	OF	Feeding of local population (pulp) ^{2,3} , medicinal ^{3,4,5} , shade ³ , nutritional benefits ⁶ , good economic value, market potential ⁷
	Araza tree (Ar)	Araça-boi	<i>Eugenia stipitata</i>	Fruit (3 yrs)	OF/MP	Produces rapidly ²⁰ , nutritional benefits ²¹ , good commercialization potential (pulp, juice, derived products, etc.) ²⁰
	Acai palm (Ap)	Acai de terra firme	<i>Euterpe oleracea</i>	Fruit (3 yrs)	OF/MP	Improved variety ¹⁸ (but traditionally used for medicine, feeding, craft, construction, fiber ^{1,3,5,8,9}), good distribution potential and market ¹⁴ , high nutritional and antioxidant value ²⁴
	Pineapple (Pa)	Abacaxi	<i>Ananas comosus</i>	Fruit (14-18 months)	OF/MP	Traditional use ²⁶ (feeding of local population ^{1,8,28} , medicinal ⁹)
	Ice-cream bean tree (Ib)	Ingá-de-metro	<i>Inga edulis</i>	Fruit, organic fertilizer	OF/MP	Feeding of local population ²⁷ , shade, fuel, medicine ¹ health benefits ²⁷ , soil restoration (rapid growth, N fixation, weed control) ^{28,29}
	Mango tree (Ma)	Manga-rosa	<i>Mangifera indica</i>	Fruit (3 yrs)	OF/MP	Feeding of local population ^{3,8} , medicinal ^{11,3,5,9} , shade ³ , good nutritional value ¹⁰ , good market potential ³¹
	Orange tree (Ot)	Laranja	<i>Citrus sinensis</i>	Fruit (3 yrs)	OF/MP	Feeding of local population and animals ^{8,3,1} , High nutritional value ²² , medicinal ^{5,3,9,1} , shade ³ , good market ²³
	Barbados cherry tree (Bc)	Acerola	<i>Malpighia glabra</i>	Fruit (2 yrs)	OF/MP	Pulp widely used regionally (juice, jelly, etc.) ¹ , high nutritional value and vitamin C content ^{16,10} , increasing demand ¹⁶
Exotic	Plantain (Pt)	Banana cumprida	<i>Musa sp.</i>	Fruit (18 months)	OF/MP	Very common crop, feeding of local population ^{1,8} , medicinal uses ⁹ , good market ²⁵

*In parenthesis, the abbreviations that will be used in this paper for each studied species.

¹Costa and Mitja, 2010, ²Da Silva and Garcia, 1999, ³Franch, 1999, ⁴Gajalakshmi et al., 2012, ⁵Branch and da Silva, 1983, ⁶Onyechi et al., 2012, ⁷São José et al., 2014, ⁸Posey et al., 1984, ⁹Rodrigues, 2006, ¹⁰Semedo and Barbosa, 2007, ¹¹Chavez, 2007, ¹²Manfio et al., 2012, ¹³Gonçalves et al., 2012, ¹⁴Locatelli et al., 2007, ¹⁵Mendonça and Ferraz, 2007, ¹⁶Barboza et al., 1996, ¹⁷De Sousa et al., 2006, ¹⁸de Oliveira and Neto, 2004, ¹⁹Klimas et al., 2012, ²⁰Ribeiro and Ferreira, 2008, ²¹Contreras-Calderon et al., 2011, ²²Tripoli et al., 2007, ²³Santana et al., 2011, ²⁴Rufino et al., 2011, ²⁵Buainain and Batalha, 2007, ²⁶Hornung-Leoni, 2011, ²⁷Passos et al., 2003, ²⁸Leblanc et al., 2006, ²⁹Lojka et al., 2012.

b) Plantation structure

Plantations were designed to ensure an eventual closed canopy as well as increased soil protection. Each plot measured 1 hectare and consisted of parallel rows of plants, surrounded by a 5 m-wide border of ice cream bean trees. A distance of 10 m was kept between large tree species (mango, soursop, Brazil nut and andiroba), and medium sized trees and shrubs (orange tree, araza, Barbados cherry) were planted at a 5 m distance. The gap between acai palms and plantains was 2.5 m, and pineapples were planted in two rows (with 1 m between each plant) near one of the edges of each plot. Finally, ice-cream bean trees were organized in 2 to 4 rows (separated by a distance of 0.6 x 0.6 m) around each plantation. Each 1-ha plot thus had 110 large trees spaced by 10 x 10 m, 400 medium sized trees spaced by 5 x 5 m, 1171 mixed acai palms and plantain specimens as well as 100 pineapple plants, and were surrounded by 2000 ice-cream bean trees.

2.2.3. System implementation and maintenance

Shredding of the fallow vegetation was first considered to avoid the use of fire for land preparation, but a mechanized approach was hardly feasible in remote areas. Moreover, slash-and-burn was better accepted among community farmers, as it is their usual clearing method. Fallows were thus slashed-and-burnt between October and December 2008. System implementation began in January 2009 and occurred in several steps during the next 12 months. The first phase (January-February 2009) consisted of the planting, with the collaboration of participating families, of large trees (andiroba, Brazil nut, mango, soursop) as well as araza and plantain. Then, ice cream bean trees and pineapples were added in May and July. Acai palms and medium-sized trees (orange and Barbados cherry) were planted in February 2010.

At the beginning of the plantation (in May 2009), lime (300 g/plant), NPK 18-18-18 (200 g/plant) and poultry manure were applied around the base of andiroba, Brazil nut, mango, araza and soursop trees. Plantains were also fertilized with lime (400 g/plant) and NPK (200 g/plant) and poultry manure at the same period. Then, during the second implementation phase at the beginning of 2010, lime and NPK (100 g of each) were mixed to the soil around each orange tree, Barbados cherry tree and acai palm seedling. No pesticides were applied (except punctual anti-leaf-cutting ant insecticide in the OF-T site), and no irrigation was done.

2.3. Data collection

Field campaigns were held from 2009 to 2013. Soil and foliar sampling as well as plant measurements were done with landowner's agreement and with the collaboration of local helpers.

2.3.1. Soil sampling

Soil samples were collected in the four initial plots in January of 2009 (corresponding with the beginning of the wet season). This sampling period was crucial because it gave a picture of initial soil characteristics in the study areas at the time of system implementation (thereafter referred as "initial time" in this paper). In each plot, soil samples were collected in nine representative points (separated by 25 m) disposed according to a grid. The same distance was kept between sampling points and plantation border in order to avoid possible edge effect on soil properties. Surface litter (leaves and branches) was removed before soil collection, and the 0-5 cm and 50-55 cm soil horizons were sampled. These depths were consistent with previous research carried out in the study region, which showed that pedological and geochemical properties (e.g. soil texture, total Hg) and processes (e.g. ash fertilization, Hg mobility, etc.) changed markedly in the first 5-6 cm under the surface

following land-use changes (Roulet and Lucotte, 1995; Roulet et al., 1998; Farella et al., 2006; Béliveau et al., 2009; Béliveau et al., 2015). Moreover, research showed that, in soils and environments similar to those of this study, edaphic properties do not change markedly throughout the profile from 30–35 cm to more than 1 m under the surface (Roulet et al., 1998), and thus, the 50–55 cm horizon was chosen to represent undisturbed conditions.

Soil collection was done with a 100 cm³ stainless steel soil core sampler (AMS, American Falls, Idaho, USA). Samples were first air-dried in order to remove most of the moisture, and were then oven-dried (at 40° Celcius) until constant weight, before being analyzed. For nitrate (NO₃) and ammonium (NH₄) analyses, duplicates of each sample were put in the freezer in the hours following the sampling and were kept frozen in the research boat in order to prevent nitrogen mineralization caused by microbial activity. During international travel, the latter were transported in a cooler and were quickly transferred to a freezer (-20° Celsius) in the Montreal laboratory until the analyses.

2.3.2. Plant measurements and sampling

Plant measurements were done at plantation time, and subsequently, when systems were 1-, 3- and 4-years-old. Each planted row was walked through and plant presence/absence was observed. Plant basal diameter (BD) was measured for all species with a caliper, and total height (TH) was recorded with a rigid ruler for all plants. Ice-cream bean, pineapple and plantain survival and growth were not monitored. Furthermore, acai palm basal diameter growth was not measured.

Green leaves of each planted species were collected in the two plots that were kept after 3 years. Foliar sampling was conducted close to three of the nine soil sampling

points. The soil sampling points located in the highest and the lowest part of each plot, as well as the one found in their center, were selected. Then, for each species (except acai palms), the three individual plants that were found the closest to each of these points were identified and sampled. Leaves were randomly sampled, selecting relatively even-aged and avoiding new, dry or very old leaves. The number of leaves collected varied depending on plant species and leaf size, but the quantity of foliar material collected in each selected individual plant was sufficient to obtain the 5 g of dry leaves that were needed for foliar laboratory analyses. Plant material was put in a paper bag and air-dried on the research boat to remove most leaf moisture. Once in Montreal, they were then oven-dried (at 40° Celcius) and ground.

2.3.3. Laboratory analyses

Several laboratory analyses were performed with frozen and dry soil samples as well as with foliar material. Frozen soil samples were used for available nitrogen (NO_3 and NH_4) analyses. The extractions were done with potassium chloride (KCl) 2M, followed by colorimetry using the Traacs 800 auto-analyser of Bran and Luebbe (Norderstedt, Germany) (Maynard and Kalra, 1993).

The unfrozen 100 cm³ dried soil samples were weighed, and bulk density (dry weight/cm³) was then calculated. After having been sieved through a 2 mm grid to remove small stones and branches, samples were reduced to a fine and homogeneous powder with a 8000 M Mixer/Mill steel percussion grinder (SPEX SamplePrep, Metuchen, NJ, USA). Finally, interstitial soil water was removed using a Labconco Freeze Dryer 4.5 (at -40° Celcius)(Kansas City, USA). These processed samples served for all the following chemical analyses, but a minimum of 50 g of each sample was kept untreated for granulometric fractionation.

Total soil carbon (C%) and total nitrogen (N%) contents were determined by combustion with the Carlo-Erba elemental analyser (NC 2500 model, Milan, Italy) (Verardo et al., 1990). Available cations such as calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), manganese (Mn), aluminum (Al), and iron (Fe) were extracted with barium chloride (BaCl_2). Cations were measured by atomic absorption (ARL 906AA, GBC Scientific Equipment, Melbourne, Australia) with acetylene-air flame, except for Ca and Al, which were analyzed with acetylene-protoxyde flame according to the methods described by Hendershot et al. (1993). Soil pH was determined using a glass electrode following a 1:4 dilution in water. A sequential extraction of four P forms (from the most available for plants to the more recalcitrant) was done: exchangeable (P_{ex}), orthophosphates extracted with citrate-dithionate-bicarbonate and associated with clays (P_{cdb}), apatite (P_{apa}) and organic (P_{org}) (the P_{ex} , P_{cdb} , P_{apa} and P_{org} abbreviations will thereafter be used in this paper). Then, P extractions were measured by colorimetry (Traacs 800 auto-analyser of Bran and Luebbe, Norderstedt, Germany) with the method elaborated by Lucotte and d'Anglejan (1985). P forms were assessed only for the two plots that were kept for more than 4 years. Bouyoucos method (MEQ, 2003) was used for the wet fractionation of unprocessed samples into three groups of fine (clay), medium (loam) and coarse (sand) particles, and for the subsequent determination of soil textural class from weighed dried fractions. Throughout this paper, clay ($< 2 \mu\text{m}$) will be referred to as "fp" (for fine particles), and sand ($53 \mu\text{m}$ -2mm) will be referred as "cp" (for coarse particles).

In addition to soil analyses, foliar Ca, Mg, K, Mn, Fe and Al concentrations were determined for all species (except acai palm), in both plantations that were maintained. Foliar cations were extracted with concentrated nitric acid and measured by atomic absorption, with the same equipment and methods used for soil cation analyses.

All samples were analyzed in Canada. Soil pH determination, cation extraction and granulometric fractionation were done at the Montréal Biodôme, and all other analyses were performed at the GEOTOP-UQAM laboratory. Replicates and analytical blanks were included in each analysis.

2.3.4. Data analyses

The characterization of plant development and nutrition from the studied agroforestry systems was done using the following variables: plant survival percentages (%), basal diameter growth (BDG), total height growth (THG) and foliar cation content, which were then analyzed through several statistical tests. In the text, the term “success” will thereafter refer to the overall survival, development and nutritional requirements of planted species. Mean plant survival and growth rates were determined for each selected species over the four years following system implementation. Plant survival rates were obtained by making a ratio (%) of the number of living plants at a given measurement period versus the number of seedlings initially planted. BDG (in mm) was calculated by subtracting mean basal diameter (BD) (measured for all living plants) at a given time from the mean recorded at the subsequent measurement period (ex: 1-year BDG = $BD_{1\text{-year}} - BD_{\text{Initial time}}$). THG (cm) was calculated the same way. Steel-Dwass all-pairs multiple comparison tests for non-parametric data were used to compare survival and plant growth rates between sites and between species. Survival and growth data from the four plots were used for the evaluation of early system development, however, since the two Araipá families stopped maintaining their plantations one year after implementation, only São Tomé sites were considered in the 4-year system development assessment. The two abandoned plots were nonetheless useful for the evaluation of the first year of plantation development.

Initial soil properties were first compared between the four studied sites, at each sampled horizon. As data did not generally follow a normal distribution, Wilcoxon each-pair multiple comparisons tests for non-parametric data were used.

Relationships between plant survival/growth rates and initial edaphic properties were then examined. In order to do so, studied plots were divided into nine 25 x 25 m to 35 x 35 m quadrats (with one of the nine soil sampling points being the center of each quadrat), and for each species, mean survival and growth rates for all plants found in each quadrat were calculated. For each species, mean survival, BDG and THG values for each quadrat were plotted with the corresponding soil values in linear regressions. A total of 44 correlations were tested with 22 soil variables, for two profile depths. Regressions were first done with 1-year survival and growth data, and then, with 4-year data.

Statistical significance was determined at $p < 0.05$ for all analyses. All tests were done using JMP software, versions 7.0.1 and 10 (SAS Institute, Cary, NC, USA), except the correspondence analyses (CA), which were performed with Canoco 4.56 (Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA). Graphs and figures were created with Kaleidagraph 4.1.2 (Synergy Software Reading, PA, USA).

3. Results

3.1. Initial soil properties in plantation areas

At the time of implementing the agroforestry systems, the initial soil physicochemical characteristics were distinct between the four studied areas (Table 2). Indeed, at the soil surface, almost all of the analyzed variables, except pH, Ca and Al, differed significantly in at least one site compared to the others, while at the 50-55 cm horizon, only P_{ex} did not differ significantly among sites.

Table 2. Initial soil physicochemical properties at implementation of agroforestry systems

Soil variables	0-5 cm horizon			50-55 cm horizon		
	OF-T	MP-T	OF-M	MP-M	OF-T	MP-M
Density (g/cm^3)	1.05 \pm 0.046c	1.46 \pm 0.050a	1.33 \pm 0.071b	1.34 \pm 0.107b	0.98 \pm 0.078b	1.30 \pm 0.157a
fp (%)	71 \pm 6.6a	16 \pm 3.0c	6 \pm 2.0d	26 \pm 3.6b	78 \pm 8.3a	44 \pm 4.4b
CaMgK	3.40 \pm 2.491a	3.09 \pm 1.539ab	1.67 \pm 0.713b	2.45 \pm 1.017ab	0.34 \pm 0.259ab	0.35 \pm 0.190a
Ca	2.02 \pm 1.607a	2.44 \pm 1.505a	1.43 \pm 0.626a	1.73 \pm 0.787a	0.08 \pm 0.031b	0.18 \pm 0.097a
Mg	1.01 \pm 0.214a	0.47 \pm 0.214a	0.20 \pm 0.239b	0.58 \pm 0.239a	0.21 \pm 0.111a	0.11 \pm 0.111ab
K	0.36 \pm 0.440a	0.18 \pm 0.093ab	0.04 \pm 0.011c	0.14 \pm 0.067b	0.04 \pm 0.011b	0.06 \pm 0.038a
Mn	0.06 \pm 0.026a	0.02 \pm 0.010b	0.00 \pm 0.001c	0.02 \pm 0.011b	0.05 \pm 0.016a	0.00 \pm 0.002b
Fe	0.00 \pm 0.002b	0.00 \pm 0.001b	0.01 \pm 0.005ab	0.01 \pm 0.003a	0.00 \pm 0.001b	0.00 \pm 0.002a
Al	0.37 \pm 0.383a	0.12 \pm 0.112a	0.23 \pm 0.309a	0.23 \pm 0.146a	0.59 \pm 0.203b	0.86 \pm 0.209a
pH	5.0 \pm 0.63a	5.5 \pm 0.52a	5.5 \pm 0.48a	5.4 \pm 0.39a	4.6 \pm 0.25a	4.5 \pm 0.25a
C/N	11.0 \pm 0.92b	12.1 \pm 1.43ab	12.3 \pm 1.56a	12.8 \pm 1.72a	8.6 \pm 0.96b	8.0 \pm 0.90b
Total C (%)	2.9 \pm 0.51a	1.4 \pm 0.30c	1.2 \pm 0.39c	1.9 \pm 0.40b	0.8 \pm 0.03a	0.5 \pm 0.09c
Total N (%)	0.3 \pm 0.03a	0.1 \pm 0.02c	0.1 \pm 0.02c	0.2 \pm 0.02b	0.1 \pm 0.01a	0.1 \pm 0.01b
NO ₃ ($\mu\text{mol/g}$)	0.54 \pm 0.331a	0.11 \pm 0.046b	0.15 \pm 0.082b	0.05 \pm 0.040c	0.46 \pm 0.290a	0.17 \pm 0.117b
NH ₄ ($\mu\text{mol/g}$)	0.76 \pm 0.356a	0.74 \pm 0.407a	0.32 \pm 0.095b	0.58 \pm 0.223a	0.12 \pm 0.039ab	0.09 \pm 0.019bc
P _{ex}	0.03 \pm 0.010b	0.05 \pm 0.014a	NA	NA	0.02 \pm 0.006a	0.02 \pm 0.008a
P _{cd}	0.97 \pm 0.304a	0.51 \pm 0.134b	NA	NA	0.68 \pm 0.273a	0.31 \pm 0.187b
P _{apa}	0.62 \pm 0.206a	0.10 \pm 0.033b	NA	NA	0.39 \pm 0.093a	0.09 \pm 0.020b
P _{org}	7.97 \pm 0.904a	1.62 \pm 0.346b	NA	NA	5.86 \pm 1.044a	3.20 \pm 0.406b

Values are means \pm standard deviations (SD). Different letters indicate significant differences between sites for a given variable, at a given soil horizon ($p < 0.05$, Wilcoxon each pairs test for multiple comparisons of non-parametric data). NA = Not analyzed.

Studied sites had very contrasted soil textures. OF-M had the coarsest granulometry throughout the soil profile, while OF-T had by far the finest. Clay content decreased from subsurface to upper horizons in all sites. Furthermore, varying degrees of erosion existed, as shown by the quite variable fp losses (ranging from 10 to 60 % in OF-T vs MP-T) found towards soil surface compared to the 50-55 cm horizon.

Overall base cation contents varied among sites: levels tended to be higher in OF-T and lower in OF-M, while intermediary in other sites. CaMgK values increased 9 to 16 times from soil depth to surface, depending on the site. OF-T had significantly higher Mn levels than other sites, and Mn values were also generally higher at soil surface compared to depth, except in OF-M, in which they did not change along the soil profile. Fe also varied among sites, but values nonetheless remained generally low, at all horizons. In contrast, Al levels did not vary much at top soil horizons, and were much higher in deeper horizons than towards the soil surface.

Soil organic matter content also differed among studied sites. At the surface, OF-M and MP-T had significantly lower C and N % compared to other sites, while OF-T had definitely the highest values. C and N contents generally increased towards soil surface, and more pronouncedly in OF-T, where values approximately tripled from depth to surface horizon. In contrast, C/N decreased along the soil profile in most sites, except OF-M. NO_3 concentrations were significantly higher in OF-T than in other areas. As for NH_4 , only OF-M had significantly different surface contents compared to other sites. NH_4 concentrations were 4 to 8 lower at subsurface horizons than at soil surface, depending on site.

Finally, P forms differed significantly between sites, except for subsurface exchangeable P (P_{ex}). In all cases, the major proportion of soil P was found in the organic form (P_{org}). For example, at the surface, P_{org} represented 67 to 83% of total P, depending on the site. In contrast, P_{ex} represented a maximum of 2.4% of total

surface P, and values were ever lower deeper in the soil profiles. P_{ex} was correlated with CaMgK ($p < 0.0005$, $r^2 = 0.3141$). In addition, P_{ex} was negatively correlated with soil fp % ($p < 0.0011$, $r^2 = 0.2781$), while P_{cdb} ($p < 0.0103$, $r^2 = 0.1834$), P_{apa} ($p < 0.0001$, $r^2 = 0.4615$) and P_{org} ($p < 0.0001$, $r^2 = 0.7115$) were positively correlated with soil fp %.

3.2. Indicators of agroforestry system success

3.2.1. Plant survival and growth after the first year

One year following implementation, the overall survival rate in the four studied plantations was 75 % (Table 3). Considering all species planted at the first plantation phase (araza, mango, soursop, Brazil nut and andiroba trees), average survival rates did not differ markedly among most sites, except for OF-T where mean survival (61 %) was significantly lower ($p < 0.0001$, Tukey) than in other areas. Mean growth (considering all species altogether) was also not significantly different between sites (BDG = $p < 0.5401$ and THG = $p < 0.1041$, Kruskal-Wallis). However, as for individual species, Brazil nut and andiroba trees survival and growth rates did not vary between sites, while araza and mango trees had distinct survival and growth values according to the site. The lower survival rate for both of the latter species were observed in OF-T.

Differences of survival and growth rates between species were already noticeable after the first year. Considering all studied sites altogether, araza had a significantly lower survival rate (65 %) than other species (80-91 %). As for plant growth, andiroba trees had the highest 1-year THG (75 cm), while araza trees had a significantly lower value (16 cm). Variations were less pronounced for BDG, and only araza trees had a significantly smaller basal increment (5 mm) than other species (12-14 mm).

Table 3. Mean 1-year survival and growth in orchard fruit tree (OF) and multi-purpose tree (MP) systems

Plant Success	Sp*.	Orchard fruit tree systems		Multi-purpose tree systems		All sites
		OF-T	OF-M	MP-T	MP-M	
Survival (%)	Ar	49 ± 50.2 b b	65 ± 47.8 b ab	78 ± 41.6 b a	69 ± 46.3 a a	65 ± 47.6 B
	Ma	60 ± 49.4 b b	89 ± 31.2 a a	83 ± 37.9 ab ab	87 ± 34.6 a ab	80 ± 41.3 A
	Ss	84 ± 37.3 a a	91 ± 29.3 a a	—	—	87 ± 33.6 A
	An	—	—	93 ± 25.8 ab a	80 ± 40.7 a a	87 ± 39.5 A
	Bn	—	—	98 ± 14.1 a a	84 ± 37.0 a a	91 ± 28.8 A
	All	61 ± 48.9 - B	78 ± 41.3 - A	86 ± 35.1 - A	77 ± 42.2 - A	75 ± 43.1 -
BDG (mm)	Ar	4 ± 2.5 b b	5 ± 6.0 b b	6 ± 3.4 c a	6 ± 2.9 b a	5 ± 4.0 B
	Ma	11 ± 7.7 a b	13 ± 7.6 a a	16 ± 7.2 a ab	12 ± 4.4 a ab	12 ± 6.2 A
	Ss	15 ± 8.4 a a	11 ± 4.6 a a	—	—	12 ± 5.2 A
	An	—	—	12 ± 4.8 b a	15 ± 7.1 a a	14 ± 7.6 A
	Bn	—	—	12 ± 4.7 b a	11 ± 5.7 a a	12 ± 6.2 A
	All	10 ± 8.2 - A	9 ± 6.8 - A	10 ± 6.1 - A	9 ± 5.9 - A	10 ± 6.7 -
THG (cm)	Ar	10 ± 11.5 b b	19 ± 28.8 b a	19 ± 13.2 c a	14 ± 11.6 b ab	16 ± 18.1 C
	Ma	50 ± 31.9 a b	56 ± 37.8 a b	77 ± 29.0 a a	47 ± 18.9 a b	56 ± 33.1 B
	Ss	63 ± 35.6 a a	60 ± 28.2 a a	—	—	61 ± 31.8 AB
	An	—	—	75 ± 39.4 a a	76 ± 28.5 a a	75 ± 34.4 A
	Bn	—	—	61 ± 26.2 b a	57 ± 30.0 a a	59 ± 28.0 B
	All	39 ± 36.2 - A	43 ± 36.8 - A	47 ± 35.2 - A	39 ± 31.9 - A	42 ± 35.1 -

* Ar = araza, Ma = mango tree, Ss = soursop tree, An = andiroba, Bn = Brazil nut. Barbados cherry, orange and plantain trees as well as acai palms plantation was done at that time, hence, 1-year values were not calculated for these species. Values are the means ± SD.

Lower-case letters: Different letters indicate significant differences between sites or species: the first letters (in bold) refer to the comparison between species within a given site, and the second letters (in italic), to the comparison between sites for a given species (Steel-Dwass all pairs test for non-parametric data, $p < 0.05$). **Capital letters:** Different italic letters indicate significant different means between sites (for all species grouped together), while different bold letters indicate difference between species (for all sites grouped together).

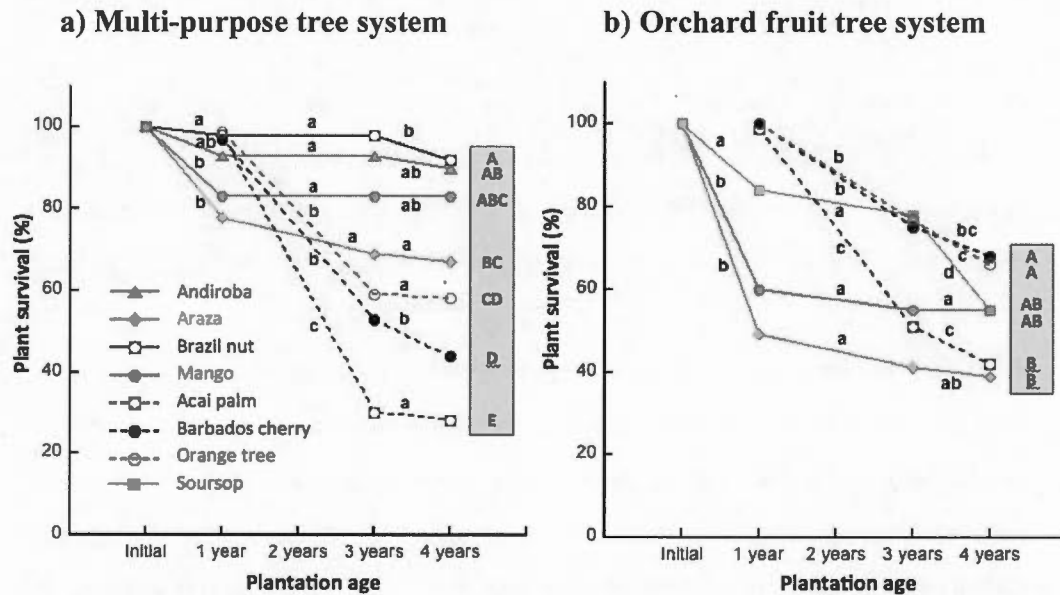
3.2.2. Plantation development over 4 years

a) Comparison of survival and growth between planted species

After 4 years, the mean survival for all species in both sites was 47 %. Brazil nut and andiroba trees had the best overall survival rates (92 and 90 % respectively), while acai palms had the lowest (35 %). Araza, soursop, mango, orange and Barbados cherry trees presented intermediate 4-years values, ranging between 53 and 65%.

Analyses of survival and growth increments for each measurement period highlighted how plant development unfolded in the plantations that were maintained over four years. For most species (and especially for species planted in 2010), mortality occurred principally during the early stages of development and then subsequently stabilized. In MP-T, this tendency was especially marked for acai palms and orange trees. Indeed, for both species, 98 % of total mortality was recorded within the two first years after seedling transplant into the field (Fig. 2a). In the latter site, a large proportion of Barbados cherry, mango and araza tree mortality also occurred in the early stages after plantation time. In OF-T, this observation was particularly pronounced for araza and mango trees, for which respectively 84 and 88 % of total mortality occurred during the first year (Fig. 2b). Contrastingly, an opposite pattern existed for soursop trees, which initially had relatively stable survival and development rate, before suffering a sharp mortality increase from the 3rd to 4th year. Finally, andiroba and Brazil nut trees mortality remained moderate during the whole study.

Fig. 2. Evolution of mean species mortality over 4 years for each site



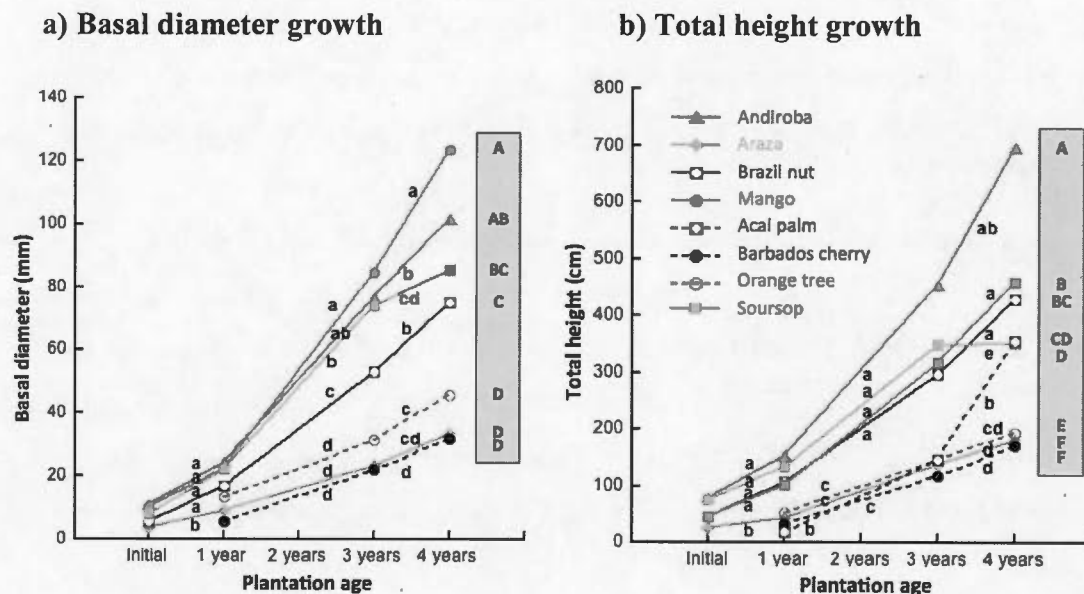
Pineapple, plantain, and ice-cream bean survival rates were not monitored. Different lower-case letters indicate significantly different mortality rates between species for a given period (between initial time and the 1st year, the 1st and 3rd year, and the 3rd and 4th year), for a given site. Different capital letters in the vertical grey rectangles at the right of the curves indicate significantly different overall 4-years mortality at the end of the study.

Growth patterns were also distinct according to individual species (Fig. 3a and b). After a relatively slow initial growth for all plants, large trees and acai palms started gradually growing faster, while Barbados cherry, araza and orange tree growth rates remained constant along the study. In contrast, a sudden decrease in soursop tree growth occurred between the 3rd and 4th year.

At the end of the 4-year measurements, mango trees BDG was significantly higher than that of most other species (except andiroba trees), while Brazil nut and soursop trees had intermediate values. As for THG, andiroba trees definitely had the highest

values, followed by mango and Brazil nut trees as well as acai palms. Finally, araza, Barbados cherry and orange trees had the smallest overall BDG and THG growth.

Fig. 3. Evolution of mean species growth during 4 years for both systems



Both sites were considered grouped together. Pineapple, plantain, and ice-cream bean basal diameter and height growth rates were not monitored. Acai palm basal diameter was not measured either. Different lower-case letters indicate significantly different growth rates between species for a given period (between initial time and the 1st year, the 1st and 3rd year, and the 3rd and 4th year). Different capital letters in the vertical grey rectangles at the right of the curves indicate significantly different overall 4-years growth at the end of the study.

b) Comparison of survival and growth according to sites

Considering all planted species, OF-T had overall a significantly better survival rate than MP-T (50 vs 44 %) (Student-t test, $p < 0.0022$) (Table 4). More variation between species' mortality rates existed in the first site. Acai palms and Barbados cherry trees survived significantly better in OF-T (Anova, $p < 0.0001$), but in contrast, mango and araza trees had a better survival rate in MP-T (Anova, $p < 0.0001$ and 0.0075 , respectively). However, orange trees survival rates were similar in both sites.

As for plant growth, Barbados cherry, orange and araza trees ($p < 0.0001$ for the two first species, Wilcoxon, and $p < 0.0343$ for the last one, Anova) had higher BDG values in OF-T, contrasting with mango trees ($p < 0.8614$, Anova) that had similar BDG in both sites. Finally, Barbados cherry trees and more markedly acai palms had better THG in OF-T ($p < 0.0001$ for both species, Wilcoxon), while mango and araza trees had higher values in MP-T ($p < 0.0497$ and 0.0308 respectively, Anova).

Table 4. Mean survival and growth after 4 years

Site	Plant sp. *	Survival (%)		BDG (mm)		THG (cm)	
		Mean \pm SD	Signif.	Mean \pm SD	Signif.	Mean \pm SD	Signif.
MP-T	An	90 \pm 31.0	ab –	90 \pm 25.7	a –	618 \pm 317.0	a –
	Bn	92 \pm 27.4	a –	70 \pm 20.4	b –	379 \pm 144.4	b –
	Ma	83 \pm 37.9	abc <i>a</i>	112 \pm 36.2	a <i>a</i>	465 \pm 161.8	ab <i>a</i>
	Ar	67 \pm 47.3	bc <i>a</i>	28 \pm 9.4	c <i>b</i>	157 \pm 40.5	d <i>a</i>
	Ap	28 \pm 44.9	e <i>b</i>	—	– –	234 \pm 96.8	c <i>b</i>
	Bc	44 \pm 49.8	d <i>b</i>	17 \pm 7.1	d <i>b</i>	118 \pm 45.8	e <i>b</i>
	Ot	58 \pm 49.6	cd <i>a</i>	26 \pm 15.9	c <i>b</i>	143 \pm 76.7	de <i>a</i>
	All	44 \pm 49.6	– <i>B</i>	43 \pm 35.7	– <i>B</i>	237 \pm 175.6	– <i>B</i>
OF-T	Ss	55 \pm 50.3	ab	77 \pm 26.9	b –	277 \pm 117.2	b –
	Ma	55 \pm 50.3	ab <i>b</i>	114 \pm 52.4	a <i>a</i>	374 \pm 172.1	ab <i>b</i>
	Ar	39 \pm 49.0	b <i>b</i>	32 \pm 9.7	c <i>a</i>	141 \pm 31.2	c <i>b</i>
	Ap	42 \pm 49.4	b <i>a</i>	—	– –	401 \pm 136.7	a <i>a</i>
	Bc	68 \pm 46.8	a <i>a</i>	32 \pm 13.1	c <i>a</i>	146 \pm 54.4	c <i>a</i>
	Ot	66 \pm 47.5	a <i>a</i>	38 \pm 15.8	c <i>a</i>	133 \pm 55.8	c <i>a</i>
	All	50 \pm 50.0	– <i>A</i>	45 \pm 33.8	– <i>A</i>	277 \pm 165.6	– <i>A</i>

MP-T and OF-T are respectively the multi-purpose and the orchard fruit tree systems, both implemented in the traditional (T) village of São Tomé. *An = andiroba, Bn = Brazil nut, Ma = mango tree, Ar = araza, Ap = açai palm, Bc = Barbados cherry tree, Ot = Orange tree and Ss = soursop tree. Pineapple, plantain, and ice-cream bean basal diameter and height growth rates were not monitored. Acai palm basal diameter was not measured either.

Lower-case letters at the right of the values: Different letters indicate significant differences in the 4-years survival and rates between sites or species. The first letters (in bold) refer to inter-species comparisons (within each site), while the second (in italic), to inter-site comparisons (for each species) (Steel-Dwass all pairs test, $p < 0.05$).

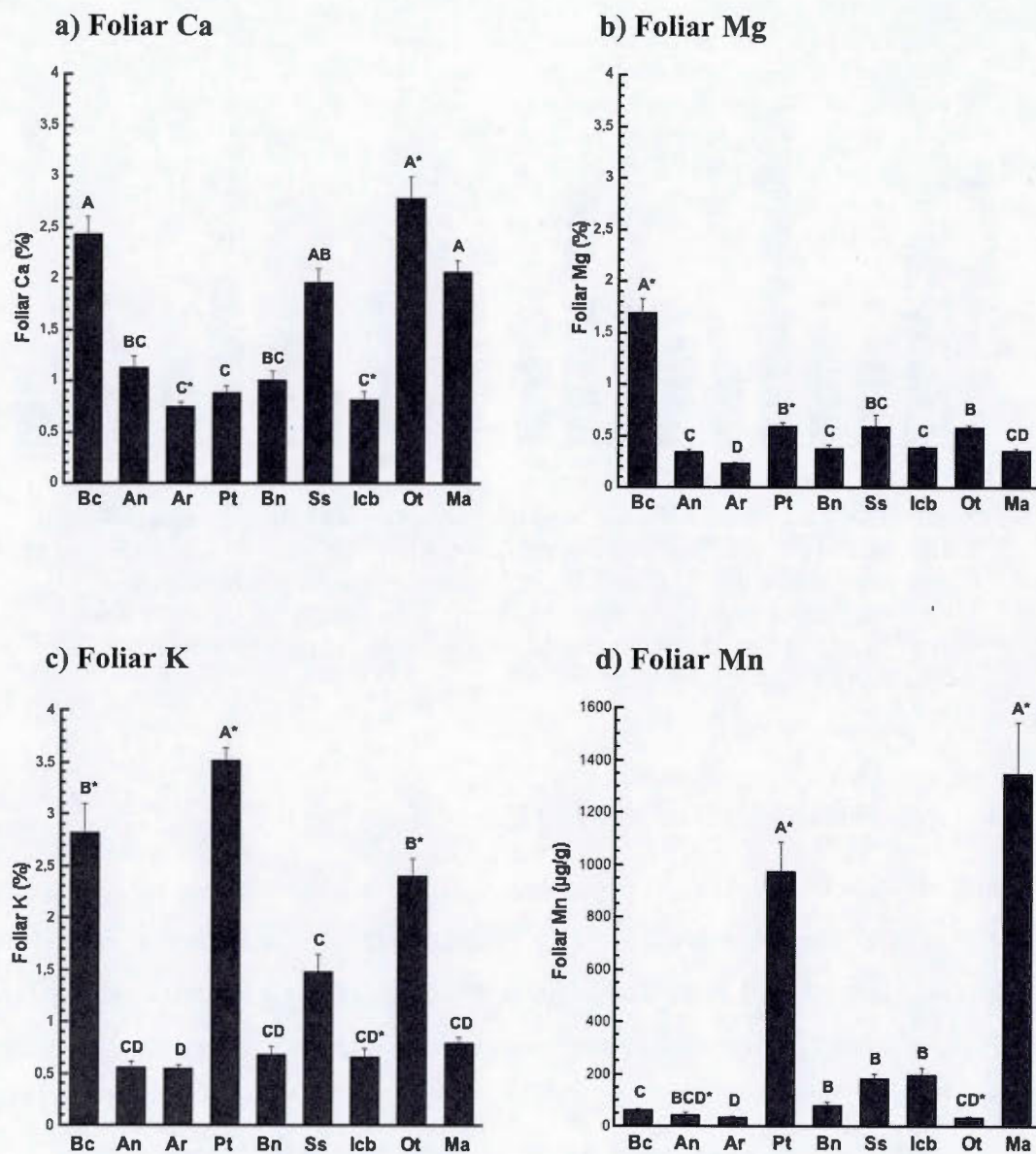
Italic capital letters: different letters indicate significantly different means between sites (for all species grouped together) (Student-t or Wilcoxon according to data distribution).

3.3. Foliar nutrient content in studied species and sites

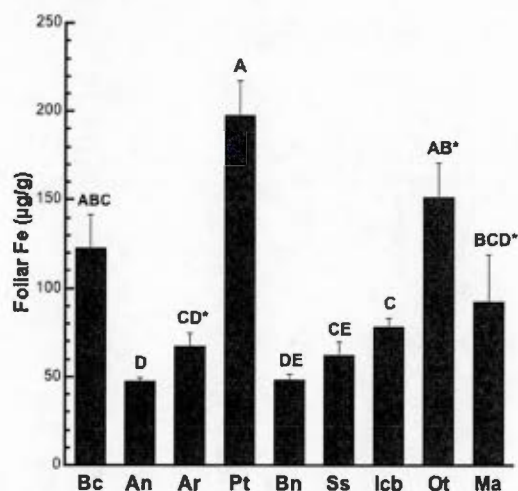
For all species of the two maintained plots grouped together, mean foliar Ca and K concentrations were about 1.7 %, while Mg concentration was 0.6 %. Comparatively, Mn content in leaves was much lower (400 $\mu\text{g/g}$), but not as much as Fe and Al, for which concentrations in foliar material were 119 $\mu\text{g/g}$ and 56 $\mu\text{g/g}$ respectively.

Foliar cations varied considerably according to planted species, as shown in figure 4. Indeed, foliar Ca was significantly higher in Barbados cherry, orange and mango trees, and to a lesser extent in soursop, than in other species (Fig. 4a). In contrast, foliar Mg did not vary much according to species to the exception of Barbados cherry that had significantly higher levels of Mg (Fig. 4b). Plantain had the highest foliar K content. Barbados cherry and orange tree also had relatively elevated K values (Fig. 4c). Almost all species had comparable foliar Mn contents, except plantain and mango that had significantly higher concentrations than other species (Fig. 4d). Finally, Fe and Al were much less present in foliar material, but their concentrations (especially for Fe) depended on the species (Fig. 4e and f). Plantain had elevated Fe and Al levels, but foliar Fe in plantain leaves did not differ significantly than levels measured in orange tree and Barbados cherry tree. Plantain Al did not differ than Barbados cherry levels. Finally, as shown by the asterisks in the figure 4, for all the species that were present in both plantations, foliar cation contents were frequently distinct between the two maintained plots.

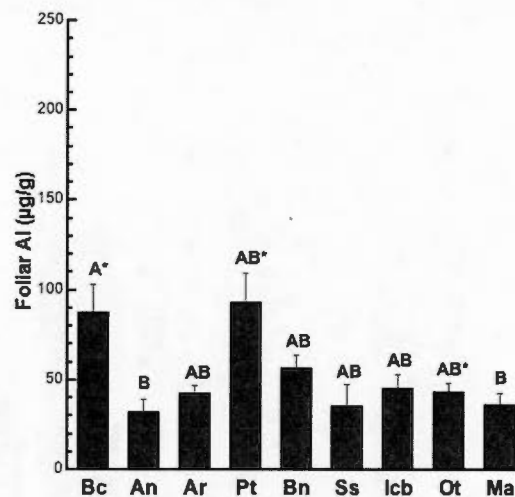
Fig. 4. Inter-species comparison of foliar cation contents for both plantations



e) Foliar Fe



f) Foliar Al



Bc = Barbados cherry tree, An = andiroba tree, Ar = araza tree, Pt = plantain tree, Bn = Brazil nut tree, Ss = soursop tree, Icb = ice cream bean tree, Ot = Orange tree and Ma = mango tree. Different letters indicate significantly different cation contents between species ($p < 0.05$, Steel-Dwass all-pairs test). Asterisks indicate significantly different cation contents between sites, for a given species ($p < 0.05$, Wilcoxon test). Error bars represent SD.

3.4. Relationships between soils and plant development

In addition to the marked inter-site edaphic variability, correspondence analyses (CA) carried out with most studied soil variables suggested that considerable intra-site soil heterogeneity existed in the studied areas. Hierarchical analyses also indicated that 35 % of overall soil data variability was related to intra-site heterogeneity, and that pH, Ca, C%, NH_4 , Mg, K, Fe, Al, C/N, P_{ex} and P_{cdb} were more variable within sites than between them. Since it was presumed that plantation development was influenced by edaphic properties, relationships between plant survival, growth and initial 0-5 cm and 50-55 cm horizons soil characteristics were therefore explored through linear regressions. However, although several relationships were significant, results should be interpreted with caution since most of them were weak ($r^2 < 0.2000$).

4. Discussion

4.1. Variable success among selected species

4.1.1. Distinct survival and growth patterns

For most species and in both sites that were maintained, the major proportion of plant mortality occurred early following system implementation. Plants are indeed generally more vulnerable during initial seedling establishment (Struve, 2009) since they have to acclimate to their new environment (Benítez-Malvido et al., 2005). In the studied systems, transplant shock may have been enhanced by various stresses such as mineral losses, inadequate soil humidity and improper seedling manipulation (Chapter 2; Struve, 2009). The moderate plant success observed during this early period had marked repercussions on overall system outcomes, especially for species such as araza trees and acai palms, which were particularly affected by a combination of factors following their transplant (Chapter 2). The subsequent stabilization of most species (except soursop trees) confirmed that, after the initial establishment phase, selected plants were generally resistant to the adversities that could have interfered with their survival and development.

The marked 4-year survival and growth rates variations found between species were consistent with previous assessments of agroforestry consortium development (Batista and Woessner, 1980; Calvo-Alvarado et al., 2007; Costa et al., 2009; Davidson et al., 1998; Scoles et al., 2011). The success of andiroba and Brazil nut trees supported past studies that reported elevated survival rates for these species (Costa Azevedo, 2014; Costa et al., 2009; Sousa et al., 2008; Condé et al., 2013; Locatelli et al., 2007). These indigenous forest trees from the Amazon region are generally appreciated for their good resistance to soil and climatic variability (Gonçalves et al., 2009; Klimas et al., 2007; Chaves, 2007), which has been confirmed in the current plantations (Chapter 2). However, not all of the selected indigenous species had a similar success. Indeed, soursop trees had the lowest

survival rate due to a borer infestation, while acai palms had an intermediary success, related to the species' sensitivity to drought (Chapter 2).

This project also highlighted that the success of studied species was quite variable according to the site where they were planted. For example, Barbados cherry, orange, araza and mango trees survival and growth rates were influenced by site-specific environmental and maintenance conditions. Finally, the limited success of araza in the current study was due to its moderate performance in the year following transplant (Chapter 2). However, this species' survival and development patterns could not have been compared with past results since it has been little studied in consortium nor in an *in situ* family farming context.

4.1.2. Species-specific nutritional requirements

Results highlighted that marked foliar cation content variations existed between studied species, which reflects the distinct nutrient requirement and efficiency of different species (Silva et al., 2006; Bergmann et al., 1994). The high foliar macronutrient contents measured in Barbados cherry trees indicated that this species has particularly elevated nutritional requirements, which is due to pronounced exportation of nutrients (especially of K) through fruits and seeds (Alves et al., 2009). Plantain K requirements was also very high, and corresponded to values that were found in past studies (Borges et al., 2009; Mattos Jr. et al., 2010, Mattos Jr. et al., 2012). Indeed, the foliar K levels that are generally considered adequate for this species are about 4 to 10 times higher than for mango trees, and 3 to 6 higher than for orange trees (Bataglia and Santos, 2001). These ratios approximately corresponded to the ones found in the studied systems, except for foliar K in planted orange trees, which were slightly higher than expected levels.

The relatively high foliar cation contents found in most selected exotic species contrasted with the low values measured in indigenous forest trees and shrubs foliar material. This observation may be related to the fact that the planted exotic species are commercial crops that have been constantly improved in order to increase production yields, and are therefore characterized by elevated nutritional requirements (Charrier et al., 1997). In contrast, indigenous plants that evolved in poor or moderately fertile soils of the Amazon (such as Brazil nut, andiroba, araza and ice-cream bean trees) developed adaptation patterns such as producing biomass with less nutrients and efficiently recycling nutrients from its decaying biomass (Vitousek and Sanford, 1986; Villachica et al., 1996; Lojka et al., 2010). In this study, araza trees had the lowest nutritional requirements of all planted species, suggesting that it can adapt to variable edaphic conditions (Ferreira and Gentil, 1999).

Overall, no marked mineral deficit was noted in studied plantations. Plantain, Barbados cherry, mango and soursop tree foliar concentrations corresponded to levels that are generally considered adequate. This was the case for almost all macronutrients except for K that was in excess in Barbados cherry trees, while lower than expected in soursop trees (Bataglia and Santos, 2001; Fernandes and do Nascimento, 2004; Barbosa et al., 2003; Queiroz Pinto, 2009b). Orange tree was the only species that showed lower foliar Ca compared to the considered normal concentrations (Magalhães, 2006; Bataglia and Santos, 2001; Mattos Jr. et al., 2012). In contrast, andiroba trees had higher cation contents than expected (Vitousek and Sanford, 1986), and elevated Mg contents were also measured in ice-cream bean trees. However, since nutrient absorption is influenced by plant physiological state as well as by development and reproductive stages (Fernandes and do Nascimento, 2004; Augustinho et al., 2008; Magalhães, 2006), the slightly low or high content of some cations measured in plant foliage did not necessarily reflect a nutritional imbalance.

In this project, soil fertilization and amendments (i.e. initial slash-and-burn, NPK and lime) were probably beneficial for planted species. Fertilizer application at the base of each plant, representing an input of 18 to 36 g of N, P and K depending on the species, as well as lime application that resulted in an increased Ca, Mg and K availability for plants (Sena et al., 2010), may have prevented marked mineral deficit, especially for species with high nutrient requirements. However, the inclusion of species that are characterized by elevated nutritional requirements such as Barbados cherry, mango and orange trees (Bataglia and Santos, 2001; Batista et al., 2003) in consortium systems nonetheless implies that subsequent fertilization may be necessary to ensure a sustained growth and production.

4.1.3. Plant-specific adaptation to micro-nutrients (Mn, Al and Fe)

The quite variable foliar Fe and Al contents that were observed in the current study may have reflected distinct adaptation patterns to these elements among selected species. Most of the soils in the Amazon have naturally elevated available Al and Fe levels that may be toxic for plants (Cochrane and Cochrane, 2006; Sobrado, 2014). However, species that evolved in Al and Fe rich areas have generally developed tolerance or exclusion mechanisms (Chenerey and Sporne, 1976; Cochrane and Cochrane, 2006; Sobrado, 2014) that allow them to avoid potentially toxic effects on plant physiology and root growth (Rout et al., 2001; Foy et al., 1978). For example, in this study, although plantain trees had very high Al and Fe foliar contents, reported values were comparable to those generally considered adequate for this species (Bataglia and Santos, 2001). As a Fe and Al tolerant species (Foy et al., 1978), plantain can accumulate higher quantity of these elements than other plants without prejudice. On the other hand, the low foliar Fe and Al concentrations in planted andiroba, ice-cream bean and araza trees (as well as in Brazil nut trees for Fe) possibly resulted from other forms of species-related adaptation mechanisms, since these plants are indigenous from the region and thus evolved in naturally Al and Fe-

rich soils. In contrast, Fe concentrations in Barbados cherry tree leaves were superior to expected values (Bataglia and Santos, 2001), possibly reflecting an excessive absorption of this element. Finally, soursop, mango and orange tree foliar Fe levels were comparable to values that are considered adequate (Bataglia and Santos, 2001; Mattos Jr. et al., 2012; da Silva et al., 1999. In addition to the influence of species-specific adaptation mechanisms, the use of slash-and-burn and lime prior and following system implementation in the current study contributed to reduced soil acidity, thus enhancing Al and Fe availability for plants (Sena et al., 2010, Béliveau et al., 2015).

As for Mn, foliar concentrations were more elevated than what has been reported in past studies for soursop and Barbados cherry trees, and particularly for mango trees (da Silva et al., 1999; Bataglia and Santos, 2001; Fernandes and do Nascimento, 2004). It is unclear if these high values were related to an excessive absorption of the element, but such foliar Mn levels could eventually have prejudicial effect on plant foliage (Foy et al., 1978). Plantains leaves also had elevated Mn contents, but in that case, values were consistent with what was expected for that species (Bataglia and Santos, 2001). The distinct Mn contents measured in the current study reflected the quite variable requirement and tolerance levels of different species, which depends on the degree of absorption and of translocation of the element to foliage, as well as on overall tolerance of plant tissues to high concentrations (Foy et al., 1978).

4.2. Limited effect of edaphic variations on plant development

Bearing in mind that the 50-55 cm horizon was considered representative of pre-disturbance soil conditions (Béliveau et al., 2015), the inter-site edaphic variations observed at this depth indicated that a fertility gradient existed between sites prior to system implementation. For example, sites such as OF-T naturally had the best

overall characteristics for plants and crops production, while in contrast, the properties of the OF-M plot were considered less suitable for agriculture (Castro and Singer, 2012). This physicochemical variability between sites is common due to the heterogeneous nature of Amazonian soils (Nye and Greenland, 1964; Sanchez and Logan, 1992). In addition, the marked soil textural variations that were observed between studied areas probably resulted from erosion processes (Chapter 3) and distinct land-use histories characterizing the region (Rozon et al., 2015), as well as from the large-scale geological factors (Holmes et al., 2005).

Since soil characteristics generally have a strong influence on plant growth (Della-Flora et al., 2004; Haferkamp, 1988) and nutrition (Reno et al., 1997; Marschner, 1995; Vitousek and Sanford, 1986), relationships between edaphic properties and plant development were expected. However, the few relationships between soil variables and plant growth observed in this study may have been partly related to site fertilization prior and following system implementation. Indeed, acidity reduction through liming influences nutrient availability (Sena et al., 2010; De Resende, 2005) and probably contributed (as well as NPK application) to the limited deficits that could have otherwise affected plant growth. Moreover, massive basic ash input from slash-and-burn also generally leads to an increase of soil surface nutrient availability (Nye and Greenland, 1964; Cochrane and Sanchez, 1982) in burnt areas. However, in the current project, incomplete forest combustion may have resulted in an unequal ash distribution within the fields, potentially limiting the desired fertilization effect in some parts of the studied sites. This could also have contributed to buffer possible soil-plant relationships.

In addition to the possible effect of site fertilization, it was also showed that supplementary environmental, plant-related and human factors had predominant impacts on plantation outcomes (Chapter 2), which probably masked the subtler relationships that could exist between soil properties and plant success. The

prevailing importance of environmental conditions comparatively to edaphic factors has also been highlighted in previous studies (Scoles et al., 2011; Paul et al., 2010).

5. Species adaptation in the context of family farming : Recommendations and conclusions

This study of agroforestry plantations implemented *in situ* in family farming conditions gives results that better correspond to the reality of rural Amazonian communities compared to studies analyzing systems implemented in controlled experimental plots. This project highlights the challenges and opportunities of adopting alternative agricultural systems considering the study region's subsistence context. Indeed, such agroforestry plantations implemented in rudimentary conditions are subjected to several environmental and human factors that have a marked influence on plant development (Chapter 2) and, consequently, on system durability (Chapter 4). The distinct survival, growth and nutrition patterns observed in this study suggested that some of the selected species are better adapted than others to the conditions in which the current project took place. Hence, in the light of the overall advantages and disadvantages associated with each of these species, recommendations as to their inclusion in agroforestry consortiums set up in similar context and environment are detailed in Table 5.

Table 5. Advantages and disadvantages of selected species for plant consortiums

Recommendations	Species	Advantages (+) and disadvantages (-)
Highly recommended (Low inputs and little maintenance needed)	Andiroba* (An)	+ Tolerant to soil heterogeneity <i>and rainfall variability, good economic value</i> – <i>Late production</i>
	Brazil nut* (Bn)	+ Tolerant to soil heterogeneity <i>and rainfall variability, good economic value</i> – <i>Late production</i>
Recommended (Careful seedling handling and/or site maintenance needed)	Araza* (Ar)	+ Low nutrient requirements, <i>early production</i> – <i>Vulnerable after transplant (especially for small seedlings)</i>
	Mango (Ma)	+ Moderate nutrient requirements, <i>good market, appreciated regionally</i> – <i>Susceptible to leaf-cutting ants attacks</i>
Moderately recommended (Use only in favorable soils and rainfall conditions)	Acai palm* (Ap)	+ <i>Culturally important, appreciated regionally, good market potential</i> – <i>Low tolerance to rainfall variability</i>
	Orange tree (Ot)	+ <i>Regionally appreciated, good market</i> – High nutrient requirements, <i>low tolerance for rainfall variability</i>
	Barbados cherry (Bc)	+ <i>Appreciated regionally, early production</i> – Very high nutrient requirements
	Plantain (Pt)	+ <i>Appreciated regionally, early production, good market</i> – Relatively high nutrient requirements
Less recommended (Use only with capacity building and regular monitoring)	Soursop* (Ss)	+ Moderate nutrient demand, <i>good economic value and market potential</i> – <i>High susceptibility to borer attacks</i>

Amazonian indigenous species are identified by asterisks (*). In italics, elements coming from the Chapter 2 of the present thesis, from the literature or from technical knowledge.

Andiroba and Brazil nut trees, both indigenous from the Amazon region, are definitely the most recommended species. Andiroba is a promising species (Costa Azevedo, 2014) among others due to its tolerance to less favorable soils (Gonçalves et al., 2009) and climatic stress (Chapter 2; Klimas et al., 2007). Moreover, andiroba trees have low P requirements (Neves et al., 2004), which represent an advantage considering the limited availability of this nutrient in tropical soils (Rao et al., 2004). Similarly, Brazil nut trees success is mainly related to its tolerance to nutrient-poor soils (Chavez, 2007) and to its good recovery capacity after transplant shock (Scoles et al., 2011). The current study supports past recommendations for Brazil nut inclusion in agroforestry and restoration projects (Costa et al., 2009; Sousa et al., 2008; Condé et al., 2013; Locatelli et al., 2007). Furthermore, ice-cream bean tree, an indigenous tree with high nutrient efficiency and contributing to soil enrichment (Lojka et al., 2010), constitutes a positive addition for low-input plant consortiums as a contour hedge for green manure from branch pruning.

Araza, another indigenous species from the Amazon, may also represent another interesting inclusion in low-input systems since it presents low nutrient requirements and is tolerant to acid soils (Villachica, 1996; Ferreira and Gentil, 1999). In the current project, it was nonetheless vulnerable during early plantation phases (Chapter 2), meaning that seedlings of a sufficient size must be chosen and that a particular caution should be adopted after transplant. In contrast, acai palms are moderately recommended because of their sensitivity to climatic stress (Chapter 2; Freire et al., 2013), hence they should be restricted to soils with a good humidity retention capacity. However, since acai is an indigenous palm that is culturally important for Amazonian populations (Pollack et al., 1996; Rufino et al., 2011), it still constitutes an interesting choice if planted in appropriate sites and if water deficit can be avoided (Chapter 2).

Mango trees could also be recommendable since they respond to local fruit demand and they are relatively tolerant to a variety of soils (Queiroz Pinto et al., 2009a). Nonetheless, their initial high mortality rate in this project, due to serious leaf-cutting ants attacks following system implementation, indicates that a particular pest surveillance effort is required to ensure optimal success. However, it should be considered that pest monitoring and control do represent a challenge in a context of rudimentary farming (Chapter 2).

Exotic plants such as Barbados cherry tree, orange tree and plantain (Buainain and Batalha, 2007; Santana et al., 2011; Barboza et al., 1996) are moderately recommended for rudimentary agroforestry plantations due to their higher nutrient requirements. However, since these species are generally appreciated by local populations (Costa and Mitja, 2010), they should not be excluded but should be restricted to systems implemented in rich areas and where soil amendments are possible.

Finally, among the selected species, soursop tree is the least recommended due to its marked mortality after the vulnerable establishment phase. This species was indeed proved as being prone to pests (da Silva and Garcia, 1999), and should thus only be included in plant consortiums if owners are capacitated for detecting and addressing potential infestation problems, and if system monitoring and maintenance can be done regularly and efficiently (Chapter 2).

Although some of the selected species are moderately or less recommended in rudimentary family farming conditions, systems composed of several plant species bring many environmental and socioeconomic benefits (Long and Nair, 1999; Semedo and Barbosa, 2007) and should be preferred to monocultures and low-diversity plantations. Indeed, complex systems combining perennial trees and short-cycle crops, as well as native and exotic species, provide gradual and continuous

economic benefits for participating landowners (Tremblay et al., 2015) in addition to contributing to a more efficient nutrient cycling (Costa et al., 2009) and to reduced erosion (Chapter 3). Hence, several other plant species could be appropriate substitutions to the selected species that were shown less suitable. Many other indigenous plants that are well adapted to the particular soil and environmental conditions of the Amazon (Arkcoll, 1990; Sobrado, 2014) could be valorized (Costa and Mitja, 2010). For example, fruit trees such as cacao (*Theobroma cacao*), cupuaçu (*Theobroma Grandiflorum*) or urucu (*Bixa orellana*) are quite appreciated by local populations (Arkcoll, 1990; Semedo and Barbosa, 2007). Or among others, indigenous forest species such as mogno (*Swietenia macrophylla* King.), Jatoba (*Hymenaea courbaril*) and Copaíba (*Copaifera langsdorffii*), are also commonly used in consortiums and have good development potential (Carvalho et al., 2003, Condé et al., 2013; Souza et al., 2008).

Acknowledgments

This study was part of the *Poor Land Use, Poor Health* (PLUPH) project studying the relationships between land use, environment and human health in the humid tropics (www.pluph.uqam.ca). The authors sincerely thank the communities of São Tomé and Araipá who made this project possible. Special thanks to all the PLUPH members, to the field assistants and research boat staff, late Luis Parente, as well as to Sophie Chen, Agnieszka Adamowicz and to the lab assistants for their help in laboratory analyses. Many thanks to the University of Québec in Montréal (UQAM) Institute of Environmental Sciences, the Montréal Biodôme and the GEOTOP-UQAM. The authors gratefully acknowledge the financial support of the Global Health Research Initiative (GHRI), the Canadian International Development Research Centre (IDRC), Health Canada, the Canadian International Development Agency (CIDA) and NSERC.

References

- Altieri, M.A. and Nicholls, C.I. (2012). Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency. In *Sustainable Agriculture Reviews*, 11, Lichtfouse (Ed.), p. 1-29, Springer.
- Altieri, M.A. and Toledo, V.M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies*, 38 (3): 587-612.
- Alves, R.E., Bezerra, M.A., de Miranda and F.R. Silva, H. (2009). Acerola. Chapter 1 in *Fruteiras tropicais do Brasil*, Crisóstomo A.C and Naumov A. N. (Eds.), p. 13-30.
- Arkcoll, D. (1990). New crops from Brazil. In: *Advances in new crops*, Janick, J. and Simon, J.E. (eds.), Timber Press, Portland, OR. p. 367-371.
- Augustinho, L.M., Prado, R de Mello, Rozane, D.E. and Freitas, N. (2008). *O acúmulo da massa seca e marcha de absorção de nutrientes em mudas de goiabeira "pedro sato"*. *Bragantia*, Campinas, 67 (3): 577-585.
- Azevêdo, C.L.L. (2007). *Produção Integrada de Citros – BA*. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Available at:
http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosBahia_2ed/index.htm
- Barbosa, Z., Soares, I. and Crisotomo, L.A. (2003). Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de graviola. *Rev. Bras. Frutic.*, 25 (3): 519-522.
- Barboza, S.B.S.C., Tavares, E.D. and de Melo, M.B. (1996). *Instruções para o cultivo da acerola*. Aracaju: EMBRAPA-CPATC, Circular Técnica, 642 p.
- Bataglia, O.C. and Santos, W.R. (2001). Estado nutricional de plantas perenes: avaliação e monitoramento. *Informações agrônômicas*, 96: 1-8.
- Batista, M.P. and Woessner, R.A. (1980). Comparação do incremento altura e diâmetro de espécies nativas e exóticas no Nordeste do Pará, Brasil. *Floresta*, 11: 24-32.

- Batista, M.M.F, Viégas, I.J.M., Frazao, D.A.C, Thomaz, M.A.A. and da Silva, R.C.L. (2003). Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata*). *Rev. Bras. Frutic.* 25 (2): 315-318.
- Béliveau, A. Lucotte, M., Davidson, R. and Paquet, S. (2009). Early Hg mobility in cultivated tropical soils one year after slash-and-burn of the primary forest, in the Brazilian Amazon. *Science of the Total Environment*, 407: 4480-4489.
- Béliveau, A., Davidson, R., Lucotte, M., do Canto Lopes, Otavio, Paquet, S. and Vasseur, C. (2015). Early effects of slash-and-burn cultivation on soil physicochemical properties of small-scale farms in the Tapajós region, Brazilian Amazon. *Journal of Agricultural Science*, 153: 205-221.
- Benítez-Malvido, J., Martinez-Ramos, M., Carmargo, J.L.C. and Ferraz, I.D.K. (2005). Response of seedling transplants to environmental variations in contrasting habitats of Central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*, 21 (4): 397-406.
- Bergmann, C., Stuhmann, M. and Zech, W. (1994). Site factors, foliar nutrient levels and growth of *Cordia alliodora* plantations in the humid lowlands of Northern Costa Rica. *Plant and Soil*, 166: 193-202.
- Borges, A.L., Souza, L.S. and Oliveira, A.M.G. (2009). Banana. Chapter 2 in *Fruteiras tropicais Brasil*, Crisóstomo A.C. and Naumov, A.N. (Eds.), p. 31-49.
- Branch, L.C. and da Silva, M.F. (1983). Folk medicine in Alter do Chão. *Acta Amazonica*, 13 (5-6): 737-397.
- Buainain, A.M. and Batalha, M.O. (2007). *Cadeia produtiva de frutas*. Série agronegócio. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA Secretaria de Política Agrícola - SPA Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, vol. 7, 102 p.
- Calvo-Alvarado, J.C., Arias, D. and Richter, D.D. (2007). Early growth performance of native and introduced fast growing tree species in wet to sub-humid climates of the Southern region of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 242: 227-235.
- Carvalho, P.E.R. (2003). Espécies arbóreas nativas: silvicultura e usos. Embrapa, 6 p.

- Castro, M. and Singer, B.H. (2012). Agricultural settlement and soil quality in the Brazilian Amazon. *Popul Environ*, 34: 22-43.
- Charrier, A., Jacquot, M., Hamon, S., and Nicolas, D. (1997). *L'amélioration des plantes tropicales*. Repères, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) and Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom), 625 p.
- Chavez, N. (2007). *Cultivo da Castanha-do-Brasil*. Dossiê Técnico. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB, 22 p.
- Chenerey, E. and Sporne, K.R. (1976). A note on the evolutionary status of aluminum tors among dicotyledons. *New Phytol*, 76: 551-554.
- Christanty, L. (1986). Shifting Cultivation and Tropical Soils: Patterns, Problems and Possible Improvements. In *Traditional Agriculture in Southeast Asia: A Human Ecology Perspective*, Marten, G.G. (Ed.), Boulder, USA: Westview Press, p. 226-240.
- Cochrane, T.T. and Cochrane, T.A. (2006). Diversity of the Land Resources in the Amazonian State of Rondônia, Brazil, *Acta Amazonica*, 36 (1): 91-102.
- Cochrane, T.T. and Sánchez, P.A. (1982). Land resources, soils and their management in the Amazon region: a state of knowledge report. In *Agriculture and Land Use Research*, Proceedings of the International Conference on Amazonian Agriculture and Land Use Research. Amazonia. CIAT series 03E-3(82), S. Hecht (Ed.), Cali, Colombia. p. 137-209.
- Coelho, A, Silva, M and Nascimento, N. (2013). *O Estado do Pará no Contexto do Desmatamento*. Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará, 19 p.
- Condé, T.M., de Lima, M.L.M., Neto, E.M. de Lima and Tonini, T. (2013). Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. *Revista Agro@mbiente On-line*, 7 (1):18-27.
- Contreras-Calderón, J., Calderón-Jaimes, L., Guerra-Hernández, E. and García-Villanova, B. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44: 2047-2053

- Costa, J.R. and Mitja, D. (2010). Uso dos recursos vegetais por agricultores familiares de Manacapuru (AM). *Acta Amazonica*, 40 (1): 49-58.
- Costa, J.R., Castro, A.B.C., Wandelli, E.V., Cora, S.C.T. and Souza, S.A.G. (2009). Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 39 (4): 843-850.
- Cunha, T.J.F., Madari, B.E., Canellas, L.P., Ribeiro, L.P., Benites, V.M. and Santos, G.A. (2009). Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de índio) in the Brazilian Amazon basin. *R. Bras. Ci. Solo*, 33: 85-93.
- da Costa Azevedo, G.F. (2014). Photosynthetic parameters and growth in seedlings of *Bertholletia excelsa* and *Carapa guianensis* in response to pre-acclimation to full sunlight and mild water stress. *Acta Amazonica*, 44 (1): 67-78.
- da Silva, S.E.L. and Garcia, T.B. (1999). A cultura da gravioleira (*Annona muricata* L.). *Documentos*, 4, Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 19 p.
- da Silva, E.E.G., Cavalcante, L.R., de Oliveira, F de Assis and de Lima, E.M. (1999). Avaliação do estado nutricional através da análise foliar e caracterização de frutos de gravioleira comum (*Annona muricata* L.) no Littoral Paraibano. *Agropecuaria tecnica*, 20 (2): 52-57.
- Davidson, R., Gagnon, D., Mauffette, Y. and Hernandez, H. (1998). Early survival, growth and foliar nutrients in native Ecuadorian trees planted on degraded volcanic soil. *Forest Ecology and Management*, 105: 1-19.
- de Mello, N.A. and Théry, H. (2003). L'État brésilien et l'environnement en Amazonie : évolutions, contradictions et conflits. *L'Espace Géographique* 1, 3-20.
- de Oliveira, M.S.P., Carvalho, J.E.U., Nascimento, W.M.O., Müller and C.H. (2002). *Cultivo do Açaizeiro para Produção de Frutos*. Circular técnica 26, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Belém, PA, 18 p.
- de Oliveira, M.S.P. et Neto, J.T.F. (2004). *Cultivar BRS-Pará: Açaizeiro para Produção de Frutos em Terra Firme*. Comunicado técnico 114, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, 3 p.
- De Resende, A.V. (2005). *Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas*. Série Estudos e Documentos. Centro de tecnologia mineral. Ministério de Ciências e Tecnologia. 36 p.

- de Sartre, X.A., Albaladejo, C., Martins, P, Veiga, I. and Grimaldi, M. (2005). Identification et évaluation de la diversité des modes d'exploitation des milieux en Amazonie orientale. *Cahiers Agricultures*, 14: 85-89.
- de Sousa, C.R., Lima, R.M.B., Azevedo, C.P. and Rossi, L.M.B. (2006). *Andiroba (Carapa guianensis Aubl.)*. Documentos 48, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Manaus, AM, 21 p.
- Della-Flora, J.B., Durlo, M.A. and S.P. (2004). Modelo de incremento para arvores singulares – *Nextandra megapotamica* (Sprend.). *Ciência Florestal*, 14 (1): 165-177.
- Embrapa Amazônia Oriental, 2007. Solos. Área de influencia da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém). Documento no 332. In *Zoneamento ecológico-econômico da área de influencia da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém)*. Available at: <http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php>
- Farella, N., Lucotte, M., Davidson R. and Daigle, S. (2006). Mercury release from deforested soils triggered by cation enrichment. *Science of the Total Environment*, 368: 19-29.
- Fernandes, F.M. and do Nascimento, V.M. (2004). Fertilidade do solo e nutrição da mangueira. In *Manga - Produção Integrada, Industrialização e Comercialização*, p. 179-197.
- Ferreira, S.A.N and Gentil, D.F.O. (1999). *Araza (Eugenia stipitata)*. *Cultivo y utilizacion*. Manual técnico. Tratado de Cooperación Amazónica, Secretaria Pro Tempore, 92 p.
- Fitzjarrald, D.R., Sakai, R.K., Moraes, O.L.L., de Oliveira, R.C., Acevedo, R.O., Czikowsky, M.J. and Beldini, T. (2008). Spatial and temporal rainfall variability near the Amazon-Tapajós confluence. *Journal of Geophysical Research*, 113: 1-17.
- Foy, C.D., Chaney, R.L. and White, M.C. (1978). The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol*, 29: 511-66.
- Franck, I. L. (1999). *Principais usos e serviôs de arvores e arbustos promissores que ocorrem em pastagens no estado do Acre*. Comunicado técnico. Embrapa, 106: 1-6.

- Freire, A.S.C., Vitorino, M.I., Gonçalves Jardim, M.A., de Sousa, A.M.L., Quaresma, A.M.L., de Oliveira, F.G. and Pereira, R.N. (2013). Analysis of the Establishment of Seedlings of Açaí (*Euterpe Oleracea* Mart.) in the Understory of a Forest of Amazon Floodplain. *Earth Interaction*, 17 (9): 1-11.
- Gajalakshmi, S., Vijayalakshmi, S and Devi Rajeswari, V. (2012). Phytochemical and pharmacological properties of *Annona muricata*: A review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4 (2): 3-6
- Gonçalves, J.F.C, da Silva, C.E.M. and Guimarães, D.G. (2009). Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44 (1): 18-14.
- Gonçalves, D.C.M, Gama, J.R.V., Oliveira, F. de Assis, de Oliveira Jr., R.C., Araújo, G.C. and de Almeida, L.S. (2012). Aspectos Mercadológicos dos Produtos não Madeireiros na Economia de Santarém-Pará, Brasil. *Floresta e Ambiente*, 19 (1): 1-8.
- Haferkamp, M.R. (1988). Environmental factors affecting plant productivity, *Achieving Efficient use of rangeland resources*. Fort Keogh Research Symposium, sept. 1987. Miles City, MT., White, R.S. and Short, R.E. (Eds), Montana Agr. Exp. Sta., Bozeman, p. 27-36.
- Hendershot, W.H., Lalonde, H and Duquette, M. (1993). Ion exchange and exchangeable cations. In *Soil sampling and methods of analysis*, Carter, M.R. (Ed.), USA: Lewis Publishers, p. 167-176.
- Holmes, K.W., Kyriakidis, P.C., Chadwick, O.A. Soares, J.V. and Roberts. D.A. (2005). Multi-scale variability in tropical soil nutrients following land-cover change. *Biogeochemistry*, 74 (2), 173-203.
- Hornung-Leoni, C.T. (2011). Bromeliads: traditional plant food in Latin America since Prehispanic times. *Polybotanica*, 32: 219-329.
- INMET – Instituto nacional de meteorologia. (2015). Available at : <http://www.inmet.gov.br/portal/>
- Jordan, C.F. (1985). Soils of the Amazon rainforest. In *Key Environments. Amazonia*, G.T. Prance and Lovejoy, T.E. (Eds.), Oxford: Pergamon Press. p. 83-94.

- Klimas, C.A., Kainer, K.A. and Wadt, L.H.O. (2007). Population structure of *Carapa guianensis* in two forest types in the southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 250: 256–265.
- Klimas, C.A. Kainer, K.A. and Wadt, L.H.O. (2012). The economic value of sustainable seed and timber harvests of multi-use species: An example. Control of *Carapa guianensis* phenology and seed production at multiple scales: a five-year study exploring the influences of tree attributes, habitat heterogeneity and climate cues. *Forest Ecology and Management*, 268: 81–91.
- Leblanc, H.A., Nygren, P. and McGraw, R.L. (2006). Green mulch decomposition and nitrogen release from leaves of two *Inga* spp. in an organic alley-cropping practice in the humid tropics *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 349–358.
- Le Tourneau, J.M. and Bursztyn, M. (2010). Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária e a política ambiental. *Ambiente & Sociedade*, 8 (1): 111–130.
- Lima, H.N., Schaefer, C.E.R., Mello, J.W.V., Gilkes, R.J. and Ker, J.C. (2002). Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") of Western Amazonia. *Geoderma*, 110: 1–17.
- Locatelli, M., Cavalcante, P.T., Martins, E.P., Vieira, A.H. and Souza, V.F. (2007). Silvicultural characteristics of Brazil nut-plantation in consortium in area of small producer in Porto Velho, Rondônia, Brazil. *Rev. Bras. de Agroecologia*, 2 (2): 1103–1106.
- Lojka, B., Dumas, L., Preininger, D., Polesny, Z. and Banout, J. (2010). The use and integration of *Inga edulis* in agroforestry systems in the Amazon – Review article. *Agricultural tropica and subtropica. Journal of Tropical Forest Science*, 243 (4): 353–359.
- Lojka, B., Preininger, D., Van Damme, P., Rollo, A. and Banout, J. (2012). Use of the Amazonian tree species *inga edulis* for soil regeneration and weed control. *Journal of Tropical Forest Science*, 24 (1): 89–101.
- Long, A.J. and Nair, P.K.R. (1999). Trees outside forests: agro-, community, and urban forestry. *New Forests*, 17, 145–174.
- Lucotte, M. and d'Anglejan, B. (1985). A comparison of several methods for the determination of iron hydroxides and associated orthophosphates in estuarine particulate matter. *Chemical Geology*, 48: 257–264.

- Magalhães, A.F.J. (2006). Nutrição mineral e adubação dos citros irrigados. *Circular Técnica* 79. Embrapa, 12 p.
- Manfio, D, Rodrigues, M.N.F., Savi, G.D. and Scussel, V.M. (2012). Brazil Nut (*Bertholettia excelsa* H.B.K.) Selenium Distribution and Physical Chemical Characteristics of Shell, Brown Skin and Edible Part from Two Amazon Regions, *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 2 (2): 292-298.
- Margulis, S. (2004). *Causes of Deforestation of the Brazilian Amazon*. World Bank Working Paper no 22, Washington, DC, 77 p.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition*. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim Germany. Academic Press. 862 p.
- Mattos Jr., D. Yamana, D.R., Boaretto, R.M., Zambrosi, C.B. and Quaggio, J.A. (2010). *Root development of young citrus trees in soil fertilized with phosphorus*. 19st World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, August 1st-6th, 2010, Brisbane, Australia.
- Mattos Jr. D., Yamana, D.R., Boaretto, R. M., Zambrosi, F.C.B. et Quaggio, J.A. (2012). Nutrient management for high citrus fruit yield in tropical soils. *Better crops*, 96 (1): 4-7.
- Maynard, D. G. et Kalra, Y.P. (1993). Nitrate and exchangeable ammonium nitrogen. In *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Carter, M.R. (Ed.), U.S.A.: Lewis Publishers, p. 25-38.
- McGrath, D.A., Smith, K.C., Gholz, H.L. et Oliveira, F. de Assis (2001). Effects of Land-Use Change on Soil Nutrient Dynamics in Amazônia. *Ecosystems*, 4 : 625-646.
- Mendonça, A.P. et Ferraz, I. (2007). Óleo de andiroba: processo tradicional da extração, uso e aspectos sociais no estado do Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 37 (3) : 353-364.
- MEQ – Ministère de l'Environnement du Québec. (2003). *Méthode d'analyse. Détermination de la granulométrie dans les sols agricoles et les sédiments : méthode Bouyoucos*. Édition 2003-12-11. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Québec, 16 p.
- Microcomputer Power. Canoco 4.56. Statistics software. Ithaca, NY, USA.

- Nepstad, D., Capobianco, J. P., Barros, A. C., Carvalho, G., Moutinho, P., Lopes, U. et Lefebvre, P. (2000). *Avança Brasil: Os custos ambientais para a Amazônia*, IPAM and Instituto Socioambiental. Relatório do Projeto Cenários Futuros para a Amazônia. Belém, Brasil, Gráfica e Editora Alves, 24 p.
- Neves, O.S.C, Benedito, D.S, Machado, R.V et de Carvalho, J.G. (2004). Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fosforo. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 28 (3) : 343-349.
- Nye, P.H. et Greenland, D.J. (1964). Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant and Soil*, 21 (1) : 101-112.
- Oestreicher, J.S. (2011). Map of the study region.
- Onyechi, Uchenna, A., Ibeanu, Vivienne, Nkiruka, Eme, Eze, P., Kelechi et Madubike. (2012). Nutrient, Phytochemical Composition and Sensory Evaluation of Soursop (*Annona muricata*) Pulp and Drink in South Eastern Nigeria. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 12 (6) : 53-57.
- Passos, C.J.S., Mergler, D., Gaspar, E., Morais, S., Lucotte, M., Larribe, F., Davidson, R. de Grosbois, S. (2003). Eating tropical fruit reduces mercury exposure from fish consumption in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 93 : 123-130.
- Pasquis, R. et de Oliveira, L.M. (2007). La récupération des terres dégradées : un enjeu socio-environnemental prioritaire en Amazonie brésilienne. *Confins* 1. DOI: 10.4000/ confins. 751. Disponible à : <http://confins.revues.org/751>
- Paul, M, Catterall, C.P., Pollards, P.C. et Kanowsko, J. (2010). Does soil variation between rainforest, pasture and different reforestation pathways affect the early growth of rainforest pioneer species? *Forest Ecology and Management*, 260: 370-377.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. et McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, 4: 439-473.
- PLUPH. (2016). *Poor Land Use, Poor Health* project website. www.pluph.uqam.ca.
- Pollack, H., Mattos, M. et Uhl, C. (1996). *O perfil de extração de palmito no estuário amazônica*. Série Amazônia 3. Imazon. 38 p.

- Posey, D.A., Frechione, J., Eddins, J., da Silva, L.F., Myers, D., Case, D. et Macbeath, P. (1984). Ethnoecology as Applied Anthropology in Amazonian Development, *Human organization*, 43 (2): 13 p.
- Queiroz Pinto, A.C., Silva, D.J. and Pinto, P.A.C., (2009a). Mangueira, Chapter 7 in *Fruteiras tropicais do Brasil*. Crisóstomo, L.A. and Naumov, A.N. (Eds), p. 123-142.
- Queiroz Pinto, A.C. (2009b). Gravioleira. Chapter 11 in *Fruteiras tropicais Brasil*. Crisóstomo, L.A. and Naumov, A.N. (Eds), p. 206-222.
- Rao, I.M, Friesen, D.K. and Osaki, M. (1999). Plant adaptation to phosphorus-limited tropical soils. In *Handbook of Plant and Crop Stress*, Pessarakli, M. (Ed.), New York: Marcel Dekker Inc. p. 61-95.
- Reno, N.B., Siquiera, J.O., Curi, N. and do Vale, F.R. (1997). Limitações nutricionais ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em latossolo vermelho-amarelo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 32 (1): 17-25.
- Ribeiro, G.D. and Ferreira, M.G.R. (2008). *Comportamento inicial de duas fruteiras amazônicas e duas exóticas tropicais em Porto Velho, Rondônia: abiu gigante (Pouteria caimito (Ruiz & Pav.) Padlk), araçá-boi (eugenia stipitata Mc Vaugh), abricó (Mannea Americana Jacq.) e rambutan (Nephelium Lappaceum L.)*. Comunicado Técnico 335. Embrapa, Porto Velho, Rondônia, 6 p.
- Rodrigues, E. (2006). Plants and animals used as medicines in the Jaú National Park (JNP), Brazilian Amazon. *Phytotherapy research*, 20: 378-391.
- Rodrigues, A.L., Ewers, R.M., Parry, L., Souza Jr. C., Varissimo, A., and Balmford, A. (2009). Boom-and-Bust Development Patterns Across the Amazon Deforestation Frontier. *Science*, 324: 1435-1437.
- Roulet, M. and Lucotte, M. (1995). Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferralitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. *Water, Air, and Soil Pollution*, 80 (1-4): 1079-1088.
- Roulet, M., Lucotte, M., Saint-Aubin, M., Tran, S., Rheault, I., Farella, N., de Jesus da Silva, E., Dezencourt, J., Sousa Passos, C.J., Santos Soares, G., Guimarães, J.R., Mergler, D. and Amorim, M. (1998). The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará state, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 223: 1-24.

- Rout, C.R., Samantaray, S. and Das, P. (2001). Aluminium toxicity in plants: a review. *Agronomie*, 21: 3-21.
- Rozon, C., Lucotte, M., Davidson, R., Oestreicher, J.S., Paquet, S., Mertens, F., Sousa Passos, C., and Romana, C. (2015). Spatial and temporal evolution of land use in the Tapajós region of the Brazilian Amazon. *Acta Amazonica*, 45 (2): 203-214.
- Rufino, M.S.M., Pérez-Jimenez, J.P., Arranz, S., Alves, R.E., Brito, E.D.S., Oliveira, M.S.P and Calixto, F.S. (2011). Açaí (Euterpe oleraceae) "BRS Pará": A tropical fruit source of antioxidant dietary fiber and high antioxidant capacity oil. *Food Research International*, 44: 2100-2106.
- São José, A.R., Pires, M.M., Gomes, A.L., Freitas, E., Ribeiros, D.P. and Perez, L.A.A. (2014). *Atualidades e perspectivas das anonaceas no mundo*, 36: 86-93.
- Sanchez, P.O. and Logan, T.J. (1992). Myths and Science about the Chemistry and Fertility of Soils in the Tropics. Chapter 3 of *Chemistry and fertility of tropical soils*, 37-46.
- Santana, A.C., Campos, P.S. da Silva, Ramos, T.J.N., Galate, R.R. dos Santos and Mota, A.V. (2011). O mercado de frutas no estado do Pará: 1985 a 2005. *Revista de Estudos Sociais*, 26 (13), p. 174.
- Scoles, R., Gribel, R. and Klein, G.N. (2011). Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. *Bol. Mus. Pará. Emilio Goeldi. Cienc. Nat.*, Belém, 6 (3): 273-293.
- SAS Institute. (2003). JMP – versions 7.0.1 and 10. Computer statistical software. Cary, NC, USA.
- Semedo, R.J and Barbosa, R.I. (2007). Árvores frutíferas nos quintais urbanos de Boa Vista, Roraima, Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 37 (4): 497-504.
- Sena, J.S., Tucci, C.A.F., Lima, H.N. and Harra, F.A.S. (2006). Efeito da calagem e da correção dos teores de Ca e Mg do solo sobre o crescimento de mudas de angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). *Acta Amazonica*, 40 (2): 309-318.
- Silva, C.E.M., Gonçalves, J.F.C., Feldpausch, T.R., Luizão, F.J., Moraes, R.R. and Ribeiro, G.O. (2006). Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras crescidas em pastagens degradadas na Amazônia central. *Acta Amazonica*, 36 (4): 503-512.

- Siren, A.H. (2007). Population Growth and Land Use Intensification in a Subsistence-based Indigenous Community in the Amazon. *Human Ecology*, 35: 669-680.
- Smith, N.J.H., Williams J.T., Plucknett, D.L. and Talbot, J.P. (1992). *Tropical forests and their crops*. Cornell University Press, Comstock Publishing Associates, NY, USA, 584 p.
- Sobrado, M.A. (2014). Relationship between Leaf Micro- and Macro-Nutrients in Top Canopy Trees in a Mixed Forest in the Upper Rio Negro in the Amazon Region. *American Journal of Plant Sciences*, 5: 1423-1431.
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd Edition*. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington D.C. 871 p.
- Sousa, C.R., Azevedo, C.P, Rossi, L.M.B. and Bezerra, R.M. (2008) *Castanha-do-Brasil (Bertholletia excelsa Humb. & Bonpl.)*. Documentos 60. Embrapa Amazônia Ocidental Manaus, AM, 22 p.
- Struve, D.K. (2009). Tree Establishment: A Review of Some of the Factors Affecting Transplant Survival and Establishment. *Arboriculture & Urban Forestry*, 35 (1): 10-13.
- Synergy Software Reading. Kaleidagraph 4.1.2. PA, USA.
- Tremblay, S., Lucotte, M., Reveret, J.-P., Davidson, R. Mertens, F., Passos, C.J. and Romana, C.A. (2015). Agroforestry systems as a profitable alternative to slash and burn practices in small-scale agriculture of the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, 89: 193-204.
- Tripoli, T., La Guarda, M., Giammanco, S., Majo, D.D. and Giammanco, M. (2007). Citrus flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties: A review. *Food Chemistry*, 104: 466-479.
- Verardo, D. J, Froelich, P. N. and McIntyre, A. (1990). Determination of organic carbon and nitrogen in marine sediments using the Carlo-Erba NA-1500 analyzer. *Deep-Sea Res*, 37 (1): 157-165.
- Villachica, H., Carvalho, J.E.U., Müller, C.H., Diaz, C. and Almanza, M. (1996). *Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia*. Lima, Peru, Tratado de Cooperacion Amazonica - Secretaria Pro-tempore. 367 p.

Vitousek, P.M. and Sanford, R.L. (1986). Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest.
Annual Review of Ecology and Systematics, 17: 137-167.

CHAPITRE II

BIOPHYSICAL AND HUMAN FACTORS INFLUENCING THE DEVELOPMENT OF AGROFORESTRY SYSTEMS IN FAMILY FARMS OF THE AMAZON (BRAZIL)

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Oliveira Junior, R.C.;
Mertens, F.; Saint-Charles, J.; Passos, C.J. et Romana, C.A.

(Cet article sera soumis à *Agriculture, Ecosystems & Environment*)

Biophysical and human factors influencing the development of agroforestry systems in family farms of the Amazon (Brazil)

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Oliveira Junior, R.C.; Mertens, F.; Saint-Charles, J.; Passos, C.J., and Romana, C.A.

Abstract

Agroforestry projects aiming at reducing the dependence on slash-and-burn cultivation in subsistence settlements of the Amazon have a quite variable success. This study assessed the main biophysical and human factors influencing the outcomes of plant consortiums implemented *in situ* in family farms of the Tapajós region (Brazil), in rudimentary conditions that were representative of the reality of rural Amazonian communities. Four newly planted 1-ha agroforestry systems composed of native Amazonian species (acai palms, andiroba, Brazil nut, soursop, araza and ice-cream bean trees and pineapple plants) and exotic species (mango, orange, Barbados cherry and plantain trees) were followed for four years. Field observations and reports, semi-direct interviews realized with participating farmers and researchers as well as biophysical data showed that climatic, biotic and human factors had a preponderant impact on plant development compared to soil properties. More precisely, the low precipitations that affected the region at the first stages after system implementation were prejudicial to acai palms and orange trees. Insects and wild animals also had negative effects on some planted species, such as on mango trees (leaf-cutting ants infestation), on pineapples, plantain and ice-cream bean trees (monkeys and cattle intrusion) and especially on soursop trees (destructive borer insects infestation). Seedling size at time of transplant and plant localization in the fields also influenced plant survival and growth rates. Finally, plant competition due to lack of weeding also affected the overall outcomes of studied systems. Overall, native trees such as andiroba, Brazil nut and araza responded more positively to the conditions prevailing in the study than exotic species. This research highlights the necessity, for low-input agroforestry systems, of selecting species that are well-adapted to local environmental conditions. It also reinforces the importance of adequate maintenance practices, especially during the crucial early phases following system implementation, but as well in subsequent stages, for ensuring optimal plantation success.

Key words:

Agroforestry, native species, plant survival, plant development, factors affecting growth, environmental conditions, plantation maintenance.

Facteurs biophysiques et humains influençant le développement de systèmes agroforestiers implantés dans des fermes familiales de l'Amazonie (Brésil)

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Oliveira Junior, R.C.; Mertens, F.; Saint-Charles, J.; Passos, C.J. et Romana, C.A.

Résumé

Les projets d'agroforesterie visant à réduire la dépendance à l'agriculture sur brûlis dans les communautés rurales de l'Amazonie ont des taux de succès très variables. Cette étude a évalué les principaux facteurs biophysiques et humains influençant le développement de consortiums agroforestiers implantés *in situ* sur des fermes familiales de la région du Tapajós (Brésil), dans des conditions rudimentaires, représentatives de la réalité des agriculteurs vivant en contexte de subsistance. Quatre systèmes agroforestiers de 1 hectare, composés d'espèces indigènes amazoniennes (açaí, andiroba, noix du Brésil, corossol, araza, pois doux et ananas) et exotiques (mangue, orange, acérola et plantain), ont été étudiés pendant quatre ans. Des observations et des rapports de terrain, des entretiens semi-dirigés réalisés avec les agriculteurs participants et les chercheurs ainsi que des données biophysiques ont montré que les facteurs climatiques, biotiques et humains ont eu un impact prépondérant sur le développement des plantations, par rapport aux propriétés du sol. Plus précisément, les faibles précipitations ayant caractérisé la région durant les premiers stades suivant l'implantation des systèmes ont eu des impacts négatifs sur les açaïs et les orangers. Les insectes et les animaux sauvages ont également affecté certaines espèces, tel que les manguiers (fourmis coupeuses de feuilles), les plants d'ananas, les plantains et les pois doux (singes et intrusions de bétail), et surtout, les corossoliers (infestation destructive d'insectes perceurs). La taille des semis lors de la transplantation de même que la localisation des plantes dans les parcelles ont aussi influencé les taux de survie et de croissance. En outre, la compétition inter espèces résultant d'un désherbage déficient a également affecté le développement des systèmes étudiés. D'une manière générale, les arbres indigènes tels que l'andiroba, les châtaigniers du Brésil et l'araza ont mieux répondu aux conditions qui prévalaient lors de l'étude que les espèces exotiques. Ce projet souligne la nécessité, pour des systèmes implantés dans un contexte rudimentaire et de subsistance, de sélectionner les espèces bien adaptées aux conditions environnementales locales. De plus, cette étude renforce l'importance d'adopter des pratiques d'entretien adéquates, particulièrement pendant les premières phases cruciales suivant l'implantation, mais également lors des étapes ultérieures du développement des systèmes.

Mots clés :

Agroforesterie, espèces indigènes, survie, développement, facteurs affectant la croissance, conditions environnementales, maintenance.

Fatores influenciando o desenvolvimento de sistemas agroflorestais implementados em lotes de agricultura familiar na Amazônia (Brasil)

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Oliveira Junior, R.C.; Mertens, F.; Saint-Charles, J.; Passos, C.J. e Romana, C.A.

Resumo

Os projetos de agrofloresta tendo como objetivo a diminuição da dependência à agricultura de corte e queima nas comunidades rurais da Amazônia tem sucesso bastante variável. Este estudo avaliou os principais fatores que influenciaram os resultados de consórcios de plantas implementados *in situ* em lotes de agricultura familiar da região do Tapajós (Brasil), em condições representativas da realidade dos agricultores vivendo num contexto de subsistência. Quatro sistemas agroflorestais de 1-ha, compostos por plantas nativas da Amazônia (andirobas, castanhas-do-pará, gravioleiras, araçás-boi, palmeiras de açaí, abacaxis e ingás-de-metro) e exóticas (mangueiras, laranjeiras, aceroleiras e bananeiras), foram estudados. Observações de campo, relatórios de pesquisa de campo, entrevistas semi-dirigidas, tanto como dados biofísicos, mostraram que fatores climáticos, bióticos e humanos tiveram impactos preponderantes no desenvolvimento das plantas em comparação com as propriedades dos solos. Mais precisamente, as baixas precipitações que afetaram a região Amazônica em 2010 (após a implementação dos sistemas agroflorestais) prejudicaram as palmeiras de açaí e as laranjeiras. Insetos e animais também provocaram efeitos negativos sobre algumas espécies plantadas, como as mangueiras (infestação de saúvas), os abacaxizeiros, as bananeiras e os ingás-de-metro (intrusão de macacos e de gados) e, especialmente, as gravioleiras (que foram fortemente impactadas por uma invasão destrutiva de broca). O tamanho das mudas no momento do transplante e a localização das plantas nos plantios também influenciaram as taxas de sobrevivência e de crescimento das plantas. Além disso, a competição interespecífica devida à falta de manutenção dos plantios também afetou o desenvolvimento dos sistemas estudados. As árvores nativas, como a andiroba, a castanha-do-pará e o araçá-boi responderam melhor às condições prevalentes no estudo do que as espécies exóticas. Esta pesquisa ressalta a necessidade, em sistemas implementados em contexto de subsistência, de selecionar espécies que são bem adaptadas às condições ambientais locais. Reforça, também, a importância da adoção de práticas adequadas de manutenção, sobretudo durante as fundamentais fases iniciais seguindo a implementação dos plantios, mas também nas etapas subsequentes, para garantir o sucesso dos sistemas agroflorestais.

Palavras chaves:

Agrofloresta, espécies nativas, sobrevivência das plantas, desenvolvimento das plantas, fatores afetando o crescimento, condições ambientais, manutenção.

1. Introduction

Agroecology is promoted as an alternative to slash-and-burn cultivation in rural tropical regions (Altieri and Nicholls, 2012). At the interface of agriculture and forestry, agroforestry systems, designed for mimicking natural ecological structure, functions and processes, were proved efficient for erosion control and soil conservation (Chapter 3) as well as for yields stabilization and production diversification (Altieri and Toledo, 2011; Altieri and Nicholls, 2012). Moreover, they are also appreciated for their nutritional benefits and economic returns (Long and Nair, 1999; Semedo and Barbosa, 2007).

However, agroforestry systems implemented in a subsistence context have variable success due to a combination of various internal and external factors that may affect plant development (Chapter 1; Della-Flora et al., 2004; Chapin, 1980; Vitousek and Sanford, 1976). Among them, internal factors that are linked to species-related genetics (Marschner, 1995) include adaptations that plants have developed in relation with the environment in which they have evolved, such as among others, nutrient uptake and use efficiency, avoidance or tolerance to mineral deficit and/or to high concentrations of potentially toxic elements, as well as distinct successional status (Chapin, 1980; Brunner and Sperisen, 2013; Davidson et al., 1998; Watanabe and Osaki, 2002). Moreover, external factors such as, for example, soil type and properties (Haferkamp, 1988; Nussbaum et al., 1995), climate and precipitations (Klimas et al., 2012), predation (Pinto et al., 2013; Myers et al., 2000) and competition (Went, 1973; Wright, 2002) can also influence the success of given species in specific environments. Furthermore, human factors such as land use (Scoles et al., 2011; Cotta et al., 2008), as well as management practices and fertilization, may also have pronounced repercussions on plant development (Neves et al., 2004; Hall et al., 2011; Nussbaum et al., 1995).

Several projects aiming at understanding the factors influencing plant consortium development were carried out under controlled parameters or have been based on a disciplinary approach, mainly concerned with agronomic or technical aspects (Bolfe and Batistella, 2011; Silva et al., 2011; Noldt et al., 2000; Tornquist et al., 1999). Hence, studies carried out in experimental plots do not usually have to deal with the constraints faced by most subsistence farmers such as soil quality, fertilization, topography, irrigation, pests, hazards, labour and access to resources (Hecht, 1995). Therefore, the transposition of results emerging from these researches to rudimentary family farming conditions can thus be challenging and misleading. In this context, agroforestry systems were implemented *in situ* in family farms of the Tapajós region, in conditions that were representative of the reality of subsistence settlements on the Amazon. A previous study showed that limited relationships between plantation success and soil properties existed in these systems (Chapter 1), suggesting that additional factors had a predominant influence on plant survival and growth. The current project aimed at addressing the biophysical and human factors affecting the outcomes of such low-input systems.

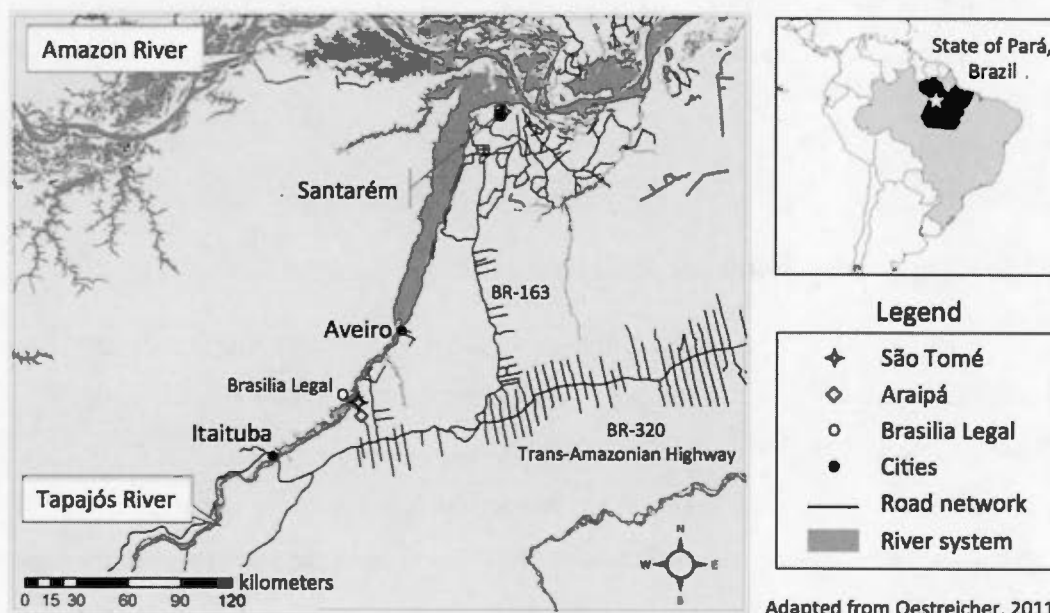
2. Methods

2.1. Study area

This project was realized in the lower Tapajós region (State of Pará, Eastern Amazon, Brazil) (Fig. 1), in the two rural villages of São Tomé and Araipá, located near Brasília Legal (in the municipality of Aveiro). Both studied communities were based on subsistence agriculture and fishing, but they nonetheless presented different demographic, socio-economic and environmental profiles. The village of São Tomé is established close to the Tapajós River (03°99'S – 55°57'W) and its population is mostly originating from the state of Pará, whereas the village of Araipá, *founded* further away from the river (04°03'S – 55°54'W), was constituted of families of

mixed-origin (Pará and Northeast States). The first community will be thereafter referred as T (for “traditional”) in this paper, while the second, as M (for “mixed-origin”).

Fig. 1. Map of the study region



In both communities, deforested surfaces have increased considerably in the last decades, and the landscape is characterized by a mosaic of various types of rain forests mixed with some areas of savannas, combined with open areas, pastures and secondary forests (*capoeiras*) (Rozon et al., 2015). Soil properties in the studied sites were described in Chapter 1. Briefly, soils in the region are principally Oxisols and Ultisols (Soil Survey Staff, 1999), or Latossolos and Argissolos according to the Brazilian classification (Embrapa Amazônia Oriental, 2007), which are generally characterized by a thin organic horizon, a highly weathered mineral horizon (Roulet and Lucotte 1995; Roulet et al. 1998), as well as a marked nutrient depletion and high

acidity (Jordan, 1985). Soil erosion has been observed in the studied communities, and was more pronounced in areas with limited vegetation cover (Chapter 3). The climate of the study area is classified as “Am” (A = tropical climate, m = Monsoon rainfall regime) according to the Köppen-Geiger classification (Peel et al., 2007), and is characterized by a marked dry season, distinctly to other parts of the Amazon (Fitzjarrald et al., 2008). In 2010, the region suffered a strong drought that affected local populations dependent on agriculture and fluvial transportation (Marengo et al., 2011; 2013).

2.2. Agroforestry system design and implementation

Two types of experimental agroforestry systems, representing a total of four 1-ha plots (2 replicas for each type of system), were designed and implemented in collaboration with family farmers participating in the *Poor Land Use, Poor Health* project (PLUPH, 2016). Two plots consisted of multi-purpose tree systems (MP) composed of a mix of silvicultural and fruit tree species, and the two others were orchard fruit tree plantations (OF) (Table 1). One plot of each type was implemented in each of the study communities. In the current paper, the studied systems will be referred as MP and OF (for “multi-purpose” and “orchard fruit tree” respectively), followed by the abbreviation of the community (T or M) where it was localized. The two types of systems are described in detail in Chapter 1.

Table 1. Orchard fruit tree (OF) and multi-purpose tree (MP) system composition

Plant name		Production	System	Plant characteristics and uses
English*	Brazilian	Latin		
Brazil nut tree (Bn)	Castanha-do-Pará	<i>Bertholletia excelsa</i>	MP	Medicinal, feeding (nuts), shade, construction, fuel, craft ^{1,3,5,8,9,11} Nutritional benefits (selenium ¹² , proteins ¹¹), timber, reforestation, cosmetics ¹² , good economic value and demand ^{13,11,14}
Andiroba tree (An)	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i>	MP	Traditional use ^{1,8,6,17} , Timber ^{18,19} , fuel ⁸ , cosmetics and medicinal ^{5,17,9} , insect repellent ^{5,15,17} , high demand and good economic value ¹⁴
Soursop tree (Ss)	Graviola	<i>Annona muricata</i>	OF	Feeding of local population (pulp) ²³ , medicinal ^{3,4,5} , shade ³ , nutritional benefits ⁶ , good economic value, market potential ⁷
Araza tree (Ar)	Araçá-boi	<i>Eugenia stipitata</i>	OF/MP	Produces rapidly ²⁰ , nutritional benefits ²¹ , good commercialization potential (pulp, juice, derived products, etc.) ²⁰
Acai palm (Ap)	Acai de terra firme	<i>Euterpe oleracea</i>	OF/MP	Improved variety ¹⁸ (but traditionally used for medicine, feeding, craft, construction, fiber ^{1,3,5,8,9}), good distribution potential and market ¹⁴ , high nutritional and antioxidant value ²⁴
Pineapple (Pa)	Abacaxi	<i>Ananas comosus</i>	OF/MP	Traditional use ²⁶ (feeding of local population ^{1,8,28} , medicinal ⁹)
Ice-cream bean tree (Ib)	Ingá-de-metro	<i>Inga edulis</i>	OF/MP	Feeding of local population ²⁷ , shade, fuel, medicine ¹ health benefits ²⁷ , soil restoration (rapid growth, N fixation, weed control) ^{28,29}
Mango tree (Ma)	Mangarosa	<i>Mangifera indica</i>	OF/MP	Feeding of local population ^{3,8} , medicinal ^{1,3,5,9} , shade ³ , good nutritional value ¹⁰ , good market potential ^{13,1}
Orange tree (Ot)	Laranja	<i>Citrus sinensis</i>	OF/MP	Feeding of local population and animals ^{8,3,1} , High nutritional value ²² , medicinal ^{5,3,9,1} , shade ³ , good market ²³
Barbados cherry tree (Bc)	Acerola	<i>Malpighia glabra</i>	OF/MP	Pulp widely used regionally (juice, jelly, etc.) ¹ , high nutritional value and vitamin C content ^{16,10} , increasing demand ¹⁶
Plantain (Pt)	Banana cumprida	<i>Musa sp.</i>	OF/MP	Very common crop, feeding of local population ^{1,8} , medicinal uses ⁹ , good market ²⁵

*In parenthesis, the abbreviations that will be used in this paper for each studied species.

- ¹Costa and Mitja, 2010, ²Da Silva and Garcia, 1999, ³Franck, 1999, ⁴Gajalakshmi et al., 2012, ⁵Branch and da Silva, 1983, ⁶Onyechi et al., 2012, ⁷São José et al., 2014, ⁸Posey et al., 1984, ⁹Rodrigues, 2006, ¹⁰Semedo and Barbosa, 2007, ¹¹Chavez, 2007, ¹²Manfio et al., 2012, ¹³Gonçalves et al., 2012, ¹⁴Locatelli et al., 2007, ¹⁵Mendonça and Ferraz, 2007, ¹⁶Barboza et al., 1996, ¹⁷De Sousa et al., 2006, ¹⁸de Oliveira and Neto, 2004, ¹⁹Klimas et al., 2012, ²⁰Ribeiro and Ferreira, 2008, ²¹Contreras-Calderon et al., 2011, ²²Tripoli et al., 2007, ²³Santana et al., 2011, ²⁴Rufino et al., 2011, ²⁵Buainain and Batalha, 2007, ²⁶Hornung-Leoni, 2011, ²⁷Passos et al., 2006, ²⁸Leblanc et al., 2006, ²⁹Lojka B et al. 2012.

System composition was designed based on the scientific advice of the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa), as well as on technical possibilities and on farmers' interests. Plantation owners were selected through a participatory process and according to their potential for experience and knowledge dissemination (Chapter 4). Sites had to be representative of what is generally found in the region. Young fallows were preferred in order to facilitate land preparation and subsequent system maintenance, and to leave mature forests untouched. Selected areas, which were all 3 to 5 year-old fallows that had been previously under cultivation of short cycle crops, were slashed-and-burnt at the end of 2008. Large tree species (andiroba, Brazil nut, mango, soursop) as well as araza and plantain were first planted (January-February 2009), followed by ice-cream bean trees and pineapples. Acai palms and medium-sized trees (orange and Barbados cherry trees) were then added (February 2010). Ice-cream bean trees were planted around each plot in order to be used as organic fertilizer. Poultry manure, NPK and lime were applied during the first stages of system implementation (Chapter 1).

Plant survival and development in studied plots were detailed in Chapter 1. In summary, after the first year following system implementation, mean survival and growth rates (for all species considered together) did not differ markedly between the four studied plantations, except for OF-T that had a lower mean survival rate. Inter-species survival and growth rates distinctions already existed after the first year. For example, araza notably had a significantly higher mortality rate than other species at that time. After 4 years, overall survival and growth rates for all species grouped together were significantly superior in OF-T compared to MP-T. Brazil nut and andiroba had the best 4-year survival rates, while in contrast, acai palm (as well as araza in OF-T) had the highest mortality rates. The mean 4-year growth rate for each of the selected species varied according to the site. For all species except soursop, most mortality occurred during the first stages following system implementation, and plant survival subsequently stabilized until the last measurement period (Chapter 1).

2.3. Data collection and analyses

Field campaigns were carried out from 2009 to 2013. Fieldwork was realized with the collaboration of landowners and of local helpers. Plantation development was assessed for 4 years through the measurement and comparison of plant survival percentages, basal diameter growth (BDG), total height growth (THG) and foliar cation content (data collection and analyses were detailed in the Chapter 1 of the current thesis). Factors influencing system outcomes were determined following a mixed-method approach combining biophysical and social data collection as well as quantitative and qualitative analyses.

Twenty-three voluntary semi-directed interviews were conducted with the researchers and technicians involved in the plantation project (thereafter called “project members” in this paper) and with participating farmers (including landholders and family members of more than 14 years-old), between January and March 2012. Seven of the respondents were from the community of São Tomé, nine from Araipá, and seven were project members.

Five main topics were addressed in the interviews: 1) History and information about selected plantation areas, 2) Development and production of studied plots, 3) Respondent’s general perceptions about traditional agriculture and agroecological practices, 4) Respondent’s perceptions about the current agroforestry project and 5) Respondent’s satisfaction and suggestions for future projects. Social data sampling was done by at least one Portuguese-native speaker helper trained for the interviews, and was most of the time carried out by a team of two people in order to improve standardization of data collection. In addition to the interviews, numerous field observations (among others about system design, implementation process, plantation development and production, farmer’s participation, etc.) that were recorded in the

PLUPH project reports during each fieldwork campaign were used. More details about the qualitative methods that were used in this study can be found in Chapter 4.

Comparisons of survival rates according to plant location within sites were done for each individual species (Student t-tests), and for all species grouped together (Anova tests). For each species, the mean initial sizes of plants that survived vs. those that did not survive were compared with Student t-tests. Furthermore, relationships between soil properties and plant growth as well as plant nutrition analyses have been explored, and were presented in details in Chapter 1.

Statistical significance was determined at $p < 0.05$ for all analyses. All tests were performed using the JMP software, versions 7.0.1 and 10 (SAS Institute, Cary, NC, USA) and all graphs and figures were done with Kaleidagraph 4.1.2 (Synergy Software Reading, PA, USA). Data from the four initial plots (including the two *Araipá plantations that were abandoned* one year after implementation) were used in this study. Processes that have led to plantation maintenance or abandonment (i.e. participant perceptions of agricultural practices and outcomes, economic constraints, etc.) were addressed in details in Chapter 4.

3. Results

Biophysical data analyses, field observations and interviews with farmers and project members allowed identifying of the main factors that influenced plant survival and growth and that affected the outcomes of studied plantations. Several biotic, climatic, edaphic, plant-related and human factors highlighted, having variable levels of importance depending on the site and species (Table 2).

Table 2. Factors affecting plantation development

Type of factors	Factor	Beneficial	Prejudicial
Edaphic	Soil texture Chemical soil properties	Clayey texture (OF-T) Good properties (OF-T)	Sandy texture (OF-M) Poor properties (OF-M)
Biotic	Herbivorous insects Animals Weeds	— — —	Borer (Ss), leaf-cutting ants (Ma) Cattle, monkeys (OF-T, MP-M) (All sites, specially OF-T)
Climatic	Precipitations	Abundant and even (all sites)	Drought (all sites, Ap, Bc, Ot)
Plant-related	Plant nutrition Initial seedling size Distance from margins Topographic position	Low nutr. requirements (An, Bn, Ar) Adequate initial size (Ma, Ss) Proximity – shade, humidity (Ap, Ar) Bottom of a slope (Ap)	High nutr. requirements (Bc, Ot, Pt) Small initial size (Ar, Bc, Ot, Ap) Distant – full light (Ma, Bc) Bottom of a slope (Ma)
Human	Burning and fertilization Seedling handling Maintenance	Appropriate fertilization (all sites) Adequate (An, Bn, Ma, Ar, Ss) —	Incomplete burning (all sites) Inadequate (Ap and Ot, Bc in MP-T) Insufficient weeding (All sites)

* Factors were identified following field observations, semi-direct interviews and statistical analyses of field measurements. Sites/species that were the most affected (positively or negatively) by a given factor are specified in parenthesis

3.1. Biophysical factors influencing plantation development

3.1.1. Edaphic factors

Soil analyses supported interviewees' perceptions regarding the soil fertility levels of the studied plantations (soil properties were described in the Chapter 1 of the present thesis). Most participating farmers and project members mentioned during their interviews the contrasting soil qualities of the different studied areas, and it was presumed that soil type and properties would have an important influence on system outcomes. That is, the OF-M soil was considered less suitable for production, while at the opposite, the OF-T area was perceived as being promising for plant development. However, as presented in Béliveau et al. (2016a), few relationships between plant survival/growth and edaphic properties were observed.

3.1.2. Biotic factors

Insects and animals had important impacts on studied systems. Among them, a trunk and branch borer insect (*Cratosomus bombina*, Curculionidae family) had strong negative repercussions on soursop trees. Infestation by this pest was noted during the 2012 fieldwork, when more than half of the 3-year-old soursop trees of the OF-T site had been attacked in a few months. These attacks were mostly deadly. Leaf-cutting ants also harmed many plants (especially mango trees) at the same site. Moreover, invading cattle that grazed and trampled many plants, mainly plantains and pineapples, negatively impacted the studied plantations. In the interviews, farmers also complained about the recurrent intrusion of monkeys in their field, which damaged productions by eating, notably ice-cream beans and plantain fruits.

Finally, the regrowth of natural vegetation was also pointed out as affecting plant plantation development, as much by participating farmers as by project members. Natural vegetation and weeds regrowth was problematic in all sites, but it was

particularly vigorous in MP-M and OF-T. The incomplete burn at time of implementation and the lack of weeding in all studied plots probably enhanced the incidence of natural vegetation regrowth.

3.1.3. Climatic conditions

Climatic conditions also had a pronounced influence on plantation's success. Indeed, a severe drought delayed the 2010 rain season and dramatically impacted regional agricultural production. Some species were more prejudiced than others. For example, orange trees, Barbados cherry trees, and especially acai palms, that were planted during this outstandingly dry period, were particularly affected when compared to species planted the previous year. Several young seedlings were killed, and others were partially burnt but nonetheless then recovered. On the other hand, the 2009 and 2012 rain seasons were characterized by abundant and even precipitation and had a positive impact on overall plantation development.

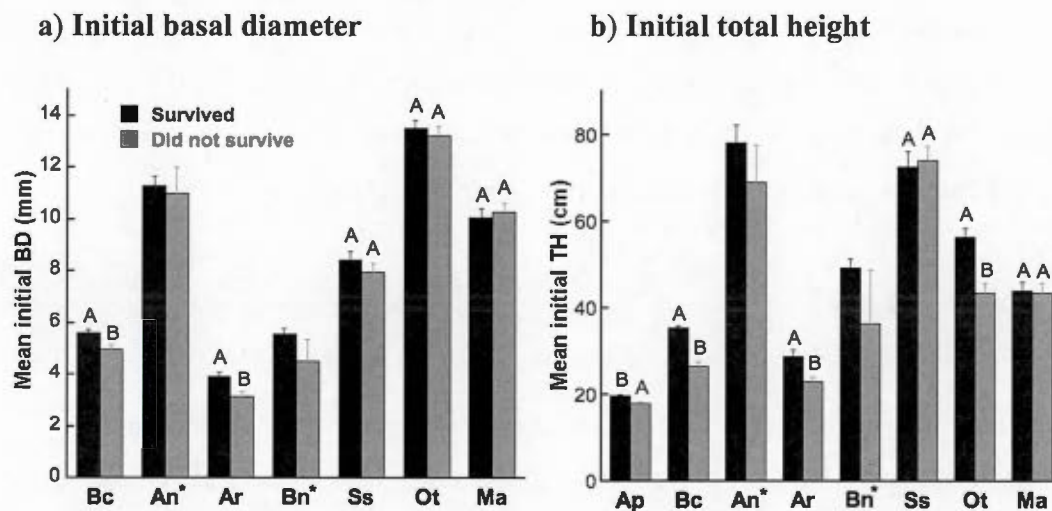
3.1.4. Plant-related factors

Foliar cation analyses and species nutritional requirements were presented in Béliveau et al. (2016a). Overall, foliar cation concentrations were very contrasted according to species. Andiroba, Brazil nut, araza and ice cream bean trees had significantly lower cations contents, while in contrast, Barbados cherry, orange, plantain and mango trees leaves had elevated values for specific nutrients (see Chapter 1 for values and statistical tests).

For most species, overall survival rate was related to seedling size at time of transplant. Indeed, considering the two maintained plots grouped together, araza, Barbados cherry, orange trees and acai palm specimens that were still alive 4 years

after system implementation had in average, at initial time, a significantly larger and/or higher BD and/or TH ($p < 0.05$), compared to those that did not survive (Fig. 2). The influence of initial seedling size on plant growth was not as pronounced, but significant relationships between initial BD and overall 4-year BDG were nonetheless observed for Brazil nut tree and Barbados cherry trees in OF-T ($p < 0.0005$, $r^2 = 0.2423$ and $p < 0.0008$, $r^2 = 0.0818$, respectively). In addition, relationships between initial TH and 4-year THG were significant for Brazil nut ($p < 0.0078$, $r^2 = 0.1500$), araza in MP-T ($p < 0.0045$, $r^2 = 0.1118$) and orange trees (MP-T = $p < 0.0071$, $r^2 = 0.1225$, and OF-T = $p < 0.0025$, $r^2 = 0.1398$).

Fig. 2. Impact of initial seedling size on 4-year plant survival rates



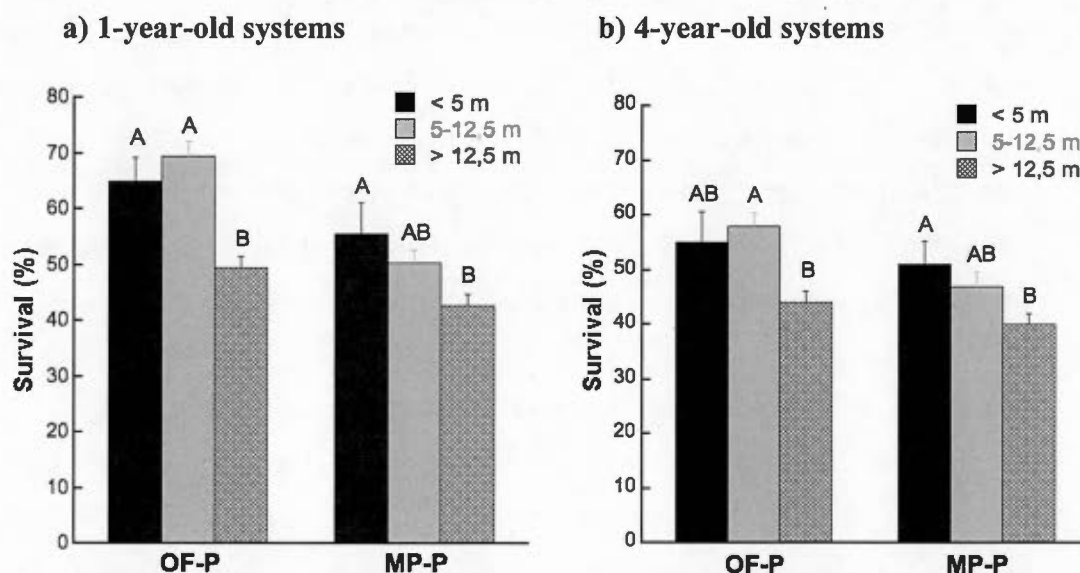
*Different letters indicate that, for a given species, the mean initial BD and/or TH differed significantly between plants that survived and plants that did not survive, in the 4-year-old plots ($p < 0.05$, Student t-tests). Statistical tests were not done for Brazil nut and andiroba since the mortality rate for these species was low. Error bars represent SD.

Survival rates also varied according to plant location in the field. Depending on the sampled quadrats, overall 4-year-old survival values for all species grouped together

ranged from 32 to 56 % (in MP-P) and from 33 to 65 % (in OF-T). Acai palms survived better in the lower part of MP-T (Tuckey, $p < 0.0001$), which was located close to a lake and was periodically flooded, while in contrast, mango trees had a higher mortality rate in that area ($p < 0.0365$). In the OF-T plot, the mean survival rates of acai palms ($p < 0.0001$), mango trees ($p < 0.0376$), araza trees ($p < 0.0132$), soursop trees ($p < 0.0108$) and orange trees ($p < 0.0209$) also varied significantly according to plant location within the site.

In addition, distinct mean plant survival rates according to proximity to plantation margins were also observed in each site (MP-T = $p < 0.0119$ and OF-T = $p < 0.0001$, Anova tests with all species grouped together). At 1-year-old, the mean plant survival rates in OF-T decreased from margins towards the center, with values ranging from 65 % to 49 %. A similar trend was observed in MP-P, where survival values ranged from 55 % at less than 5 m from plantation borders to 42 % towards center (Fig. 3a)., This tendency subsisted in the 4 year-old plots since plant mortality was still 11 % higher towards field center than closer to plantation margins, in both sites (Fig. 3b). Survival rate variations according to plant location within studied plots were especially marked for acai palms (MP-T = $p < 0.0399$ and OF-T = $p < 0.0001$, Student t-test⁷) and for araza trees in MP-T ($p < 0.0003$), which both survived better near plantation margins.

⁷All comparisons of survival and growth of individual species according to distance to plantation margins (0–12.5 m vs > 12.5 m) were done with Student t-tests, except when the use of Wilcoxon test is specified.

Fig. 3. Survival rate variation according to plantation margin proximity

*Different letters indicate significant different survival rates (for all species, in each types of system) according to distance from plot margins ($p < 0.05$, Anova). Error bars represent SD.

Moreover, growth variations were also observed according to plant location within sites. Mango trees were less developed near plantation edges, as much in OF-T (BDG = $p < 0.0166$, Wilcoxon test) as in MP-T (BDG = $p < 0.0038$ and THG = $p < 0.0429$). Similarly, Barbados cherry trees growth rate was lower near OF-T edges (BDG = $p < 0.0001$ and THG = $p < 0.0026$, Wilcoxon test). However, acai palms growth rates were more variable; while THG was higher near the margins of the MP-T plot, an opposite trend was the observed in OF-T ($p < 0.0415$ and $p < 0.0140$ respectively).

3.2. Human factors

3.2.1. Site preparation and system implementation

All plots were slashed-and-burnt before systems implementation. However, although the use of fire for clearing and fertilizing the land was perceived positively by participating farmers, in the current project, vegetation combustion was partial due to the combination of a late forest logging and of a particularly early rain season. Therefore, in addition to causing unequal soil fertilization, the incomplete burn resulted in an unexpectedly enhanced natural vegetation regrowth in all studied sites. Moreover, several difficulties occurred during system implementation, and among others during seedling transplant, which negatively impacted overall plantation outcomes. More precisely, logistic problems have delayed the second planting phase that ended occurring during the exceptional drought of 2010, which prejudiced the species that were transferred into the field at that time. In the MP-T plot, impacts were enhanced for Barbados cherry and orange trees, as well as for acai palms since for these species, seedlings were left by mistake in plastic bags on the ground under the hot sun before being planted, damaging many plants. Acai palms were particularly affected, and 70 % of the acai specimens of the MP-T plot died following transplant.

3.2.2. Plantation maintenance

Inadequate site maintenance also negatively affected overall plantation development. Weeding was not done regularly, which resulted in the persistence of secondary vegetation and weeds in all studied plots, and particularly in MP-M and OF-T. Moreover, although soil amendment was perceived by responding farmers as being beneficial for plant development, it was noted that chemical fertilization was often excessive or inadequately distributed, resulting in the burning of some plants. Furthermore, the addition of ice-cream bean tree leaves around seedlings (aiming at

providing high-nitrogen organic fertilization) has been done in the two plantations that were maintained, but in the OF-T site, leaves were added on the ground during the dry season, which resulted in an increased temperature at the base of the plants due to the mineralization of the decomposing vegetation matter, seriously affecting several seedlings and even killing some young acai specimens. But as a whole, this green manure technique using ice-cream bean residues was not used sufficiently nor accurately to validate any significant results.

4. Discussion

A previous study showed that edaphic property variations in the studied systems did not have a predominant impact on overall plantation outcomes (Chapter 1). Indeed, although marked soil heterogeneity was observed within and between studied sites, plants did not necessarily survive and develop better in the areas that were considered more fertile (Chapter 1). This surprisingly limited influence of edaphic properties suggested that other factors probably masked the possibly subtler relationships that could exist between soil characteristics and plant development. The prevailing impacts of environmental factors as well as of management practices and socioeconomic context (Hall et al., 2011; Nussbaum et al., 1995) over edaphic conditions (Scoles et al., 2011; Paul et al., 2010) had also been observed in past projects.

4.1. Strong influence of environmental conditions on plantation success

Most species planted in the current project were markedly affected by insect and animal presence, by weed competition, as well as by light, temperature and soil moisture variations. These results were consistent with past experiments that

highlighted the strong influence of environmental conditions on plant development and nutrition (Haferkamp, 1988; da Silva et al., 1999; Cakmak, 2005).

a) Marked impacts of pest and animal predation

Leaf-cutting ants (*Atta sp.*) had a predominant impact on plant survival and development, showing that herbivorous insects can indeed cause serious harm to plants and even kill them (Benítez-Malvido et al., 2005; Kenne et al., 1999). Among the studied species, the fact that mango trees were particularly affected may have been due to the general preference of *Atta sp.* to fruit trees (Carvalho et al., 2012), shade intolerant (Farji-Brenner, 2001) and introduced species (Blanton and Ewel, 1985). Moreover, recently slashed-and-burnt areas are usually more prone to infestations (Schoereder and da Silva, 2008; Carvalho et al., 2012), which may explain the enhanced *Atta sp.* presence following perturbation in the current study. In addition, the marked leaf-cutting ants invasion that particularly affected the OF-T plot may have been related to its distinct edaphic characteristics compared to other studied sites, since it has been reported that soil type and properties also have a role on insect incidence (Schoereder and da Silva, 2008).

Moreover, soursop trees were aggressively attacked by the *Cratosomus bombina* borer, which is considered one of the most prejudicial pests for this species (Hamada et al., 1998; Da Silva and Garcia, 1999). Thus, although soursop fruits are very appreciated by local populations (Costa and Mitja, 2010; Franck, 1999), the culture of this species is often limited due to the risks associated to borer invasions (Hamada et al., 1998). Since the insect can cause pronounced damage to plant trunk and branches – frequently until death –, early signs of attacks need to be addressed imperatively (da Silva and Garcia, 1999). However, Amazonian family farmers have a limited capacity to buy pesticides due to their precarious economic conditions (Tremblay et

al., 2015). Moreover, in the current case, the poor availability of agricultural extension from regional organizations did not allow for diagnosing the problem and taking action quickly, resulting in rapid and dramatic parasite expansion.

Grazers (including livestock and wild animals) also had negative impacts on studied plantations, similarly to what has been reported in several previous projects (Haferkamp, 1988; Myers et al., 2000; 1993; Dupraz, 1999). In the participating communities, damages caused by animals are quite common, not only in the studied agroforestry plots but also in traditional agricultural fields. Indeed, due to economic limitations (Tremblay et al., 2015), fences that could prevent cattle intrusion in plantations are rarely installed. Hence, since livestock movement is rarely controlled in the region, grazing and trampling frequently result in production losses, and consequently, in tensions between neighbours. In addition, monkey intrusions, attracted among others by ice-cream bean fruits, highlight that crop raiding from wild animals in cultivated areas located near forests can have serious repercussions on agricultural productions in the tropics (Lemessa et al., 2013).

b) Rainfall and plant adaptation to climatic variability

Abnormally low rainfall during system implementation deeply affected the development of some of the planted species. Among meteorological parameters, precipitation is indeed considered the most influencing factor for plants to take root (Mendivelso et al., 2014). The year of 2010 was characterized by an exceptional drought that marked the whole Amazon region (Marengo et al., 2011). At the Itaituba meteorological station, only 1600 mm of rainfalls were measured during the 2010 rain season, which represented 13 % less precipitation than previous rain season (2009) and 26 % less precipitation than the following one (2011) (INMET, 2015).

In this study, the distinct responses of planted species to drought probably reflected their different tolerance level to water deficit (Haferkamp, 1988). For example, Barbados cherry trees, orange trees and acai palms were particularly impacted by the low pluviometry. Orange trees are indeed sensitive to weak and irregular rainfalls (Azevêdo, 2007; Nascimento et al., 2012). As for Barbados cherry trees, even if characterized by physiological mechanisms that generally allow them to tolerate moderate water-deficit (Medeiros et al., 2012), seedlings did not support the excessive drought of 2010. Acai palms also did not respond well to low precipitation, although the «BRS-Pará» variety was expected to be suitable for upland soils, contrarily to the common acai palm that usually grows in swamps and that is affected by low precipitation and intense sunlight (de Oliveira et al., 2002; Freire et al., 2013). This could be attributed to the fact that the «BRS-Pará» variety was developed in the East of Pará State, near Belém (de Oliveira and Neto, 2004), an area characterized by a humid climate all year-round, in contrast with the study region, which has a marked dry season. Hence, the low success of the improved acai in the current project indicates that it is not as well adapted, at least in the early stages following transplant, to the seasonal conditions prevailing in the relatively drier parts of the Amazon (Salati 1985; Fitzjarrald et al., 2008).

On the other hand, andiroba, Brazil nut and araza trees were less affected by the low pluviometry, which may be related to the fact that many native species that evolved in the Amazon have developed adaptations allowing them to resist the alternating and prolonged flood and drought periods characterizing the region (Junk, 1997; Parolin and Wittmann, 2010; Parolin, 2012). More specifically, the high survival rates of andiroba trees in the current study proved its good capacity to resist water deficit (Gonçalves et al., 2009; Noldt et al., 2000; Costa Azevedo, 2014) and to adapt to a variety of conditions (Klimas et al., 2007). It is indeed documented that, although andiroba trees develop better in occasionally inundated areas, they can also do well in

upland and less humid soils (Noldt et al., 2000; Klimas et al., 2007; 2012). Similarly, the relatively good overall success of araza (except during the more vulnerable early development stages) may also be attributed to its adaptation to varying moisture conditions, since it is known to tolerate periods of flood even though it generally prefers upland soils (Quevedo Garcia, 1995). Planted Brazil nut trees were not prejudiced by the weak rain season, which could be due to their good capacity to recover after a shock in favourable luminosity conditions (Scoles et al., 2011), even if they are relatively sensitive to water deficit (Costa Azevedo, 2014). These adaptations probably allowed these plants to resist the climatic variability and unfavourable meteorological conditions better than some other species. In contrast, considering the relatively less humid climate of the study region compared to other parts of the Amazon (Peel et al., 2007) combined with the abnormal drought that prevailed during the project (Marengo et al., 2013; INMET, 2015), plants that had a lower tolerance for changing water regimes were disadvantaged.

c) Effects of small-scale environmental variations

The impacts of previously discussed factors were diminished or amplified (depending on species) by small-scale environmental variations associated to plant position within the studied plots. For example, the development of species better adapted to humid environments, such as acai palms (Freire et al., 2013), was favoured in areas that were located close to water and prone to flooding, explaining the higher survival rate observed at the bottom part of MP-P. On the opposite, species that develop better in well-drained soils and that are little tolerant to prolonged flooding, such as mango trees (Bally, 2006; Queiroz Pinto et al., 2009), were disadvantaged in such waterlogged areas.

Plant survival and development were also influenced by proximity to a neighbouring forest, which is associated with more shade, cooler temperature and higher soil

humidity (Benítez-Malvido et al., 2005; Haferkamp, 1988). For example, the better success of araza and orange trees near plantation borders may have been related to the higher degree of shade in that area, considering that these species are sensitive to excessive luminosity (Mendel, 1969; Kanten and Beer, 2005). Similarly, higher overall soil moisture near the forest probably contributed to the better survival of acai palms planted close to field margins. An opposite pattern existed for Barbados cherry and mango trees, for which growth seemed restricted in shady environments. This was not surprising since mango tree is a shade-intolerant species (Bally, 2006), and Barbados cherry trees generally respond better to good luminosity conditions (Gilman, 2013).

4.2. Importance of implementation process and site maintenance

Management practices adopted during system implementation (including site preparation, seedling selection and handling) and early development stages (such as fertilization and weeding) had pronounced impacts on overall plantation success. These findings were consistent with previous projects that highlighted the crucial influence of human factors on system's outcomes (Nguyen et al., 2014; Struve, 2009; Nussbaum et al., 1995; Dupraz, 1999). It has indeed been reported that on-farm plantations frequently present lower survival and development rates compared to controlled experimental plots, as a result of various human constraints and of unequal management practices among farmers (Hall et al., 2011).

Seedling transplant, and more precisely, initial seedling size at time of transplant had a role in the early mortality of several species, notably Barbados cherry, orange and araza trees as well as acai palms. The impact of initial seedling size on plant survival and development has also been observed in past studies (Baraloto et al., 2005; Tsakalimi et al., 2012; Puértolas et al., 2003). Since small seedlings have a limited

capacity to compete with weeds and natural vegetation and also have less resistance to stresses such as mineral deficit, unfavourable luminosity and dry soils (Benítez-Malvido et al., 2005; Gray and Spies, 1997), only specimens with sufficient dimensions should be transferred into the field in order to avoid establishment problem and subsequent costs (de Souza et al., 2006; Chavez, 2007). For some of the studied species, the mean initial size of plants that did not survive was under the recommended values for seedling transplant. For example, araza specimens that did not survive were on average smaller (22 cm of height) than the minimal 25 cm that should be reached before transplant (Ferreira and Gentil, 1999). Similarly, the mean height of the Barbados cherry trees that did not survive was lower (26 cm) than the initial 30 to 40 cm that are recommended to favour a better resistance to pests, climatic variations and competition (Barbosa et al., 2003; Barboza et al., 1996). Overall, in the current study, although plant survival rates generally stabilized after the establishment phase (Chapter 1), the relatively important initial mortality observed for most species had clear repercussions on general plantation success.

Many of the problems that affected the studied plantations were related to the incomplete initial burning of the plantation areas. A unique burning was used before system implementation since it represented the easiest, the more acceptable and the more efficient way to clear the fallow vegetation in order to facilitate subsequent tree planting, in addition to temporarily increasing soil fertility through nutrient-rich ash input (Béliveau et al., 2015; Farella et al., 2007). However, partial vegetation combustion led to unequal soil fertilization, which may have affected plant development. Furthermore, the partial burning resulted in an unexpectedly vigorous regrowth and persistence of natural weeds and vegetation, exacerbating the need for weeding. The more pronounced presence of weeds in OF-T, probably attributed to its distinctly better soil properties compared to other plots (Major et al., 2003), resulted in enhanced plant competition, and thus in an increased need of maintenance at that site. System maintenance represented a challenge for participating farmers and was

generally deficient, consequently affecting overall plantation success and continuity (Chapter 4).

4.3. Socioeconomic constraints and regional context

Multiple socioeconomic and cultural aspects were also involved in the outcomes of implemented systems. Participating families were pressured by severe economic constraints as well as by other short-term priorities (Chapter 4; Tremblay et al., 2015) that restricted the time and efforts they could devote to their plantation. In rural communities, agroforestry systems are frequently associated with abstract and long-term positive returns, contrasting with the short time horizon that generally prevails in subsistence settlements (Chapter 4; Vosti and Witcover, 1996). In the Amazon, the majority of family farmers live in an economically precarious situation with very little flexibility, often obliging them to prioritize short-term crop production in order to ensure their subsistence (Vosti and Witcover, 1996). Indeed, since economic limitations have direct repercussions on small-scale farmers' investment capacity and strategies, the adoption of sustainable practices replacing traditional slash-and-burn cultivation represents a real challenge for local populations (Reardon and Vosti, 1995; Vosti and Witcover, 1996).

In the current project, although the implementation of agroforestry systems initially generated a positive response in the studied communities (Chapter 4), practical constraints such as lack of workforce, difficulties for product conservation, transformation and transport, reduced access to markets as well as low prospects of sales and economic returns (Tremblay et al., 2015; Reardon and Vosti, 1995; Vosti and Witcover, 1996) may subsequently have affected the involvement of participating families. Furthermore, insufficient knowledge about the types of agroforestry systems that were implemented and the limited access to technical assistance (Chapter 4),

combined with the constant struggles to fulfill basic needs, may have discouraged farmers from pursuing new and unfamiliar practices.

In addition, farmers' decisions about land use practices are also influenced by numerous demographic factors, gender, knowledge, values and beliefs (Oestreicher et al., 2014), as well as by regional and national politics (Sorrensen, 2009). Brazilian governmental policies and institutional functioning are in many aspects far removed from the reality of rural communities, and small-scale farmers often have to deal with contradicting and incoherent environmental and agrarian policies, institutions and legislations (Fatorelli and Mertens, 2010; Le Tourneau and Bursztyn, 2010). Therefore, the factors influencing the outcomes of agroforestry initiatives cannot be addressed without considering issues related to land tenure security, political support, as well as access to credit and to economic incentives, key elements for helping family farmers in their steps towards reducing their dependency on slash-and-burn cultivation (Sorrensen, 2009; Vosti and Witcover, 1996).

5. Conclusions

Rudimentary socio-economical conditions have much more pronounced impacts than edaphic properties for plant survival and development in agroforestry systems recently implemented in family farms of the Amazon. This highlights the importance of considering plant adaptation to local environment among the main criteria in the design of agroforestry projects taking place in a subsistence context. Bearing in mind that marked climatic perturbations are increasingly affecting the Amazon region, plant sensitivity to meteorological variability should not be neglected (Marengo et al., 2013). Species that are resistant to pests must also be prioritized, since subsistence farmers are not always equipped to detect invasions and take action in case of problems. Furthermore, although the impacts of soil properties were secondary in the

current project, plants having low nutritional requirements should be preferred (Chapter 1). For example, indigenous species that evolved in poor soils have developed mechanisms allowing them to grow in a variety of edaphic conditions, including nutrient-depleted environments (Chapin, 1980), which is a clear advantage for systems implemented in rudimentary conditions. Conversely, exotic species are generally commercial crops that often have higher nutritional requirements, and their inclusion in low input agroecological systems may not give optimal results. However, since many of these species are appreciated by local populations and have a good market potential (Buainain and Batalha, 2007; Santana et al., 2011; Barboza et al., 1996), they should nonetheless not be rejected, as long as they are planted in areas that can sustain their higher nutrient requirements or in consortium with other species that contribute to soil enrichment (Chapter 1).

The pronounced impacts of site preparation and maintenance on overall system outcomes reinforce the importance of human factors for the success of such agroforestry initiatives. More precisely, careful manipulations as well as sound plantation maintenance in the first stages of system implementation are crucial for limiting initial plant mortality. This study also reinforces the advantages of appropriate plantation structure, designed according to species needs in terms of light and moisture (Nguyen et al., 2014). Moreover, regular monitoring in subsequent developmental phases is essential for ensuring the early detection of eventual pest attacks, mineral deficiency or of any problems that could affect plantation success. Therefore, knowledge exchange and capacity building with local farmers should be prioritized. This could include, for example, the identification of local specialists within the community that could recommend specific action if needed. Partnerships with local institutions and organizations that could provide punctual technical support and capacitation workshops should also be privileged.

The outcomes of agroforestry systems implemented *in situ* in family farms of the Amazon are also influenced by economic limitations, technical constraints and cultural issues, related to the global context prevailing in subsistence settlements of the region. Considering that local populations have short term priorities in order to fulfill their basic needs, farmers often have little or no flexibility as well as low investment capacity, which limit the possibilities of adopting alternative land use practices that bring medium/long-terms benefits. In this precarious context, it is clear that on a larger scale, sound settlement and rural development strategies are essential for the success of any agroforestry initiative. This study thus stresses the need of a better support for regional projects aiming at supporting family farmers for reducing their dependence on slash-and-burn practices. At a broader level, models of development must address poverty alleviation, land tenure security and family farming support as key priorities for limiting further environmental degradation.

Acknowledgments

This study was part of the Poor Land Use, Poor Health (PLUPH) research initiative studying the relationships between land use, environment and human health in the humid tropics (www.pluph.uqam.ca). The authors sincerely thank the communities of São Tomé and Araipá who made this project possible. Special thanks to all the PLUPH members, to late Luis Parente, to the field assistants and research boat staff, as well as to Claire Vasseur, Sophie Chen, Agnieszka Adamowicz and to the lab assistants for their contribution along this project. The authors gratefully acknowledge the financial support of the Global Health Research Initiative (GHRI), the Canadian International Development Research Centre (IDRC), Health Canada, the Canadian International Development Agency (CIDA) and NSERC. Many thanks to the University of Québec in Montréal (UQAM)'s Institute of Environmental Sciences, the Montréal Biodôme and the GEOTOP-UQAM.

References

- Altieri, M.A. and Nicholls, C.I. (2012). Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency. In *Sustainable Agriculture Reviews*, vol. 11, Lichtfouse (Ed.), p. 1-29, Springer.
- Altieri, M.A. and Toledo, V.M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies*, 38 (3): 587-612.
- Azevêdo, C.L.L. (2007). *Produção Integrada de Citros – BA*. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Available at:
http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosBahia_2ed/index.htm
- Bally, I.S.E. (2006). *Mangifera indica* (mango) Anacardiaceae (cashew family). *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*, 25 p.
- Baraloto, C. Forget, P.-M. and Gorlberg, D.R. (2005). Seed mass, seedling size and neotropical tree seedling establishment. *Journal of Ecology*, 93: 1156-1166.
- Barbosa, Z., Soares, I. and Crisotomo, L.A. (2003). Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de gravioleira. *Rev. Bras. Frutic.*, 25 (3): 519-522.
- Barboza, S.B.S.C., Tavares, E.D. and de Melo, M.B. (1996). Instruções para o cultivo da acerola. Aracaju: EMBRAPA-CPATC, *Circular Técnica*, 642 p.
- Béliveau, A., Davidson, R., Lucotte, M., do Canto Lopes, Otavio, Paquet, S. and Vasseur, C. (2015). Early effects of slash-and-burn cultivation on soil physicochemical properties of small-scale farms in the Tapajós region, Brazilian Amazon. *Journal of Agricultural Science*, 153: 205-221.
- Benítez-Malvido, J., Martinez-Ramos, M., Carmargo, J.LC. and Ferraz, I.D.K. (2005). Response of seedling transplants to environmental variations in contrasting habitats of Central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*, 21 (4): 397-406.
- Blanton, C. M and Ewel, J.J. (1985). Leaf-Cutting Ant Herbivory in Successional and Agricultural Tropical Ecosystems. *Ecology*, 66 (3): 861-869.

- Bolfe, E.L. and Batistella, M. (2011). Análise florística e estrutural de sistemas silviagrícolas em Tomé-Açu, Pará. *Esq. agropec. bras.*, Brasília, 46 (10): 1139-1147.
- Branch, L.C. and da Silva, M.F. (1983). Folk medicine in Alter do Chão. *Acta Amazonica*, 13 (5-6): 737-397.
- Brunner, I. and Sperisen, S. (2013). Aluminum exclusion and aluminum tolerance in woody plants. Review article. *Frontiers in Plant Science*, 4 (1): 1-12.
- Buainain, A.M. and Batalha, M.O. (2007). *Cadeia produtiva de frutas*. Série agronegócio. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA Secretaria de Política Agrícola - SPA Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, vol. 7, 102 p.
- Cakmak, I. (2005). Role of Mineral Nutrients in Tolerance of Crop Plants to Environmental Stress Factors. - In *Proceedings from the International Symposium on Fertigation Optimizing the Utilization of Water and Nutrients*. p. 35-48, International Potash Institute.
- Carvalho, K.S, Balch, J. and Moutinho, P. (2012). Influências de *Atta* spp. (Hymenoptera: Formicidae) na recuperação da vegetação pós-fogo em floresta de transição amazônica. *Acta Amazonica*, 42 (1): 81-88.
- Contreras-Calderón, J., Calderón-Jaimes, L., Guerra-Hernández, E. and García-Villanova, B. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44: 2047-2053.
- Chapin, F.S. (1980). *The Mineral Nutrition of Wild Plants*. 3rd edition. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11: 233-260.
- Chavez, N. (2007). *Cultivo da Castanha-do-Brasil*. Dossiê Técnico. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB, 22 p.
- Costa, J.R. and Mitja, D. (2010). Uso dos recursos vegetais por agricultores familiares de Manacapuru (AM). *Acta Amazonica*, 40 (1): 49-58.
- Cotta, J.M, Kainer, K.A., Wadt, H.O. and Staudhammer, C.L. (2008). Shifting cultivation effects on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) regeneration. *Forest Ecology and Management*, 256: 28–35.

- da Costa Azevedo, G.F. (2014) Photosynthetic parameters and growth in seedlings of *Bertholletia excelsa* and *Carapa guianensis* in response to pre-acclimation to full sunlight and mild water stress. *Acta Amazonica*, 44 (1): 67-78.
- da Silva, S.E.L. and Garcia, T.B. (1999). A cultura da gravioleira (*Annona muricata* L.). *Documentos*, 4, Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 19 p.
- da Silva, E.E.G., Cavalcante, L.R., de Oliveira, F de Assis, de Lima, E.M. (1999). Avaliação do estado nutricional através da análise foliar e caracterização de frutos de gravioleira comum (*Annona muricata* L.) no Littoral Paraibano. *Agropecuaria tecnica*, 20 (2): 52-57.
- Davidson, R., Gagnon, D., Mauffette, Y. and Hernandez, H. (1998). Early survival, growth and foliar nutrients in native Ecuadorian trees planted on degraded volcanic soil. *Forest Ecology and Management*, 105: 1-19.
- Della-Flora, J.B., Durlo, M.A. and S.P. (2004). Modelo de incremento para arvores singulares – *Nextandra megapotamica* (Sprend.). *Ciência Florestal*, 14 (1): 165-177.
- de Oliveira, M.S.P and Neto, J.T.D. (2004). *Cultivar BRS-Pará: Açaizeiro para Produção de Frutos em Terra Firme*. Comunicado técnico 114, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Belém, PA, 3 p.
- de Oliveira, M.S.P, Carvalho, J.E.U., Nascimento, W.M.O. and Müller, C.H. (2002). *Cultivo do Açaizeiro para Produção de Frutos*, Circular técnica 26, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Belém, PA, 18 p.
- de Sousa, C.R., Lima, R.M.B., Azevedo, C.P. and Rossi, L.M.B. (2006). *Andiroba (Carapa guianensis Aubl.)*. Documentos 48, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Manaus, AM, 21 p.
- Dupraz, C. (1999) Adequate design of control treatments in long term agroforestry experiments with multiple objectives. *Agroforestry Systems*, 43: 35-48.
- Embrapa Amazônia Oriental. (2007). Solos. Área de influencia da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém). Documento no 332. In *Zoneamento ecológico-econômico da área de influencia da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém)*. Available at: <http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php>

- Farrella, N., Davidson, R., Lucotte and Daigle, S. (2007). Nutrient and mercury variations in soils from family farms of the Tapajós region (Brazilian Amazon) : Recommendations for better farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120: 449-462.
- Farji-Brenner, A.G. (2001). Why are leaf-cutting ants more common in early secondary forests than in old-growth tropical forests? An evaluation of the palatable forage hypothesis. *OIKOS*, 92: 169-177.
- Fatorelli, L. and Mertens, F. (2010). Integração de políticas e governança ambiental: o caso do licenciamento rural do Brasil. *Ambiente & Sociedade*, 8 (2): 16 p.
- Ferreira, S.A.N and Gentil, D.F.O. (1999). *Araza (Eugenia stipitata). Cultivo y utilizacion*. Manual técnico. Tratado de Cooperación Amazónica, Secretaria Pro Tempore, 92 p.
- Fitzjarrald, D.R., Sakai, R.K., Moraes, O.L.L., Cosme de Oliveira, R., Acevedo, R.O., Czikowsky, M.J. and Beldini, T. (2008). Spatial and temporal rainfall variability near the Amazon-Tapajós confluence. *Journal of Geophysical Research*, 113: 1-17.
- Franck, I. L. (1999). *Principais usos e serviços de arvores e arbustos promissores que ocorrem em pastagens no estado do Acre*. Comunicado técnico. Embrapa, 106: 1-6.
- Freire, A.S.C., Vitorino, M.I., Gonçalves Jardim, M.A., de Sousa, A.M.L., Quaresma, A.M.L., de Oliveira, F.G. and Pereira, R.N. (2013). Analysis of the Establishment of Seedlings of Açaí (*Euterpe Oleracea* Mart.) in the Understory of a Forest of Amazon Floodplain. *Earth Interaction*, 17 (9): 1-11.
- Gajalakshmi, S., Vijayalakshmi, S and Devi Rajeswari, V. (2012). Phytochemical and pharmacological properties of *Annona muricata*: A review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4 (2): 3-6.
- Gilman, E.F. (2013). *Malpighia glabra* Barbados Cherry. University of Florida. IFAS extension. Available at : <http://edis.ifas.ufl.edu/fp390>.
- Gonçalves, J.F.C, da Silva, C.E.M. and Guimarães, D.G. (2009). Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44 (1): 18-14.

- Gonçalves, D.C.M, Gama, J.R.V., Oliveira, F. de Assis, de Oliveira Jr. R.C., Araújo, G.C. and de Almeida, L.S. (2012). Aspectos Mercadológicos dos Produtos não Madeireiros na Economia de Santarém-Pará, Brasil. *Floresta e Ambiente*, 19 (1): 1-8.
- Gray, A.N. and Spies T.A. (1997). Microsite controls on tree seedling establishment in conifer forest canopy gaps. *Ecology*, 78: 2458-2473.
- Haferkamp, M.R. (1988). Environmental factors affecting plant productivity, *Achieving Efficient use of rangeland resources*. Fort Keogh Research Symposium, sept. 1987. Miles City, MT, White, R.S. and Short, R.E. (Eds.), Montana Agr. Exp. Sta., Bozeman, p. 27-36.
- Hall, J.S, Love, B.E., Garen, E.J., Slusser, J.L., Saltonstall, K., Mathias, S., Breugel, M.V., Ibarra, D.I., Bork, E.W., Spaner, D., Wishnie, M.H. and Ashton, M.S. (2011). Tree plantations on farms: Evaluating growth and potential for success. *Forest Ecology and Management*, 261: 1675-1683.
- Hamada, N, Gomes, A.L.S., Couturier, G. and Ronchi-Teles, B. (1998). Insetos associados a gravioleira (*Annona muricata* L., Annonaceae) na região de Manaus, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 28 (4): 425-431.
- Hecht, S. (1995). *The Evolution of agroecological thoughts, in Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. Second Edition. Intermediate Technology Publications, London, UK. p. 1-20.
- Hornung-Leoni, C.T. (2011). Bromeliads: traditional plant food in Latin America since Prehispanic times. *Polybotanica*, 32: 219-329.
- INMET – Instituto nacional de meteorologia. (2015). <http://www.inmet.gov.br/portal/>
- Jordan, C.F. (1985). Soils of the Amazon rainforest. In *Key Environments. Amazonia*, G.T. Prance and Lovejoy, T.E. (Eds.), Oxford: Pergamon Press. p. 83-94.
- Junk, W.J. (1997). General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian Floodplains. In *Ecological Studies, The Central Amazon floodplain*, 126, Junk, W.J. (Ed.), Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, p. 3-20.
- Kanten, R.V. and Beer, J. (2005). Production and phenology of the fruit shrub *Eugenia stipitata* in agroforestry systems in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 64: 203-209.

- Kenne, M., Corbara, B. and Dejean, A. (1999). Impact des fourmis sur les plantes cultivées en milieu tropical. *Ann & Bipl.* 38: 195-212.
- Klimas, C.A., Kainer, K.A. and Wadt, L.H.O. (2007). Population structure of *Carapa guianensis* in two forest types in the southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 250: 256-265.
- Klimas, C.A. Kainer, K.A. and Wadt, L.H.O. (2012). The economic value of sustainable seed and timber harvests of multi-use species: An example. Control of *Carapa guianensis* phenology and seed production at multiple scales: a five-year study exploring the influences of tree attributes, habitat heterogeneity and climate cues. *Forest Ecology and Management*, 268: 81-91.
- Locatelli, M., Cavalcante, P.T., Martins, E.P., Vieira, A.H. and Souza, V.F. (2007). Silvicultural characteristics of Brazil nut-plantation in consortium in area of small producer in Porto Velho, Rondônia, Brazil. *Rev. Bras. de Agroecologia*, 2 (2): 1103-1106.
- Leblanc, H.A., Nygren, P. and McGraw, R.L. (2006). Green mulch decomposition and nitrogen release from leaves of two *Inga* spp. in an organic alley-cropping practice in the humid tropics *Soil Biology & Biochemistry*, 38: 349-358.
- Lemessa, D, Hylander, K. and Hambäck, P. (2013). Composition of crops and land-use types in relation to crop raiding pattern at different distances from forests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 167: 71-78.
- Le Tourneau, J.M. and Bursztyn, M. (2010). Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária e a política ambiental. *Ambiente & Sociedade*, 8 (1): 111-130.
- Lojka, B, Preininger, D., Van Damme, P., Rollo, A. and Banout, J. (2012). Use of the Amazonian tree species *inga edulis* for soil regeneration and weed control. *Journal of Tropical Forest Science*, 24 (1): 89-101.
- Long, A.J. and Nair, P.K.R. (1999). Trees outside forests: agro-, community, and urban forestry. *New Forests*, 17, 145-174.
- Major, J., Ditommaso, A., German, L.A. and McCann, J.M. (2003). Weed population dynamics and management on Amazonian Dark Earth. Chapter 22 in *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*, Lehmann, J., Kern, D.C., Glaser, B. and Woods, W.I. (Eds.), Kluwer Academic Publishers. Netherlands, p. 433-454.

- Manfio, D, Rodrigues, M.N.F., Savi, G.D. and Scussel, V.M. (2012). Brazil Nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) Selenium Distribution and Physical Chemical Characteristics of Shell, Brown Skin and Edible Part from Two Amazon Regions, *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 2 (2): 292-298.
- Marengo, J.A., Tomasella, J., Lincoln, M.A., Wagner, R.S. and Rodriguez, D.A. (2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical research letters*, 38, 5 p.
- Marengo, J.A., Borma, L.S., Rodriguez, D.A., Pinho, P.S, Wagner, R.A. and Lincoln, M. (2013). Recent Extremes of drought and flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptations. *American Journal of Climate Change*. 2: 87-96.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition*. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim Germany. Academic Press. 862 p.
- Medeiros D.B., Ciriaco, E.D.S., Santos, H.R.B., Pacheco, C.M., Musser, R.S. and Nogueira, R.J.M.C (2012). Physiological and biochemical responses to drought stress in Barbados cherry. *Braz. J. Plant Physiol.*, 24 (3): 181-192.
- Mendel, K. (1969). *The influence of temperature and light on the vegetative development of citrus trees*. Proc. 1st int. Citrus Symp., Riverside, 1: 259-265.
- Mendivelso, H.A., Camarero, J.J., Gutiérrez, E. and Zuidema, P.A. (2014). Time-dependent effects of climate and drought on tree growth in a Neotropical dry forest: Short-term tolerance vs. long-term sensitivity. *Agricultural and Forest Meteorology*, 188: 13-23.
- Mendonça, A.P. and Ferraz, I. (2007). Óleo de andiroba: processo tradicional da extração, uso e aspectos sociais no estado do Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 37 (3): 353-364.
- Myers, G.P., Newton, A.C. and Melgarejo, O. (2000). The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia, *Forest Ecology and Management*, 127: 119-128.
- Nascimento, A.K.S., Fernandes, P.D., Suassuna, J.F., de Oliveira, A.C.M., Sousa, M.S. da Silva and Melo, C.A.C. (2012). Tolerância de genótipos e citros ao estresse hídrico na fase de porta-enxerto. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 6 (1): 14-22.

- Neves, O.S.C, Benedito, D.S, Machado, R.V and de Carvalho, J.G. (2004). Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fosforo. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 28 (3): 343-349.
- Nguyen, H., Lamb, D., Herbohn, J. and Firn, J. (2014). Designing Mixed Species Tree Plantations for the Tropics: Balancing Ecological Attributes of Species with Landholder Preferences in the Philippines. *Plos One*, 9 (4), 11 p.
- Noldt, G., Kuhn, A.J., Schröder, W.H. and Bauch, J. (2000). *Structure of Fine Roots of Carapa guianensis Aubl. and their Uptake of Mineral Elements*. German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems – Achievements and Prospects of Cooperative Research Hamburg, Sept. 3-8.
- Nussbaum, R., Anderson, J. and Spencer, T. (1995). Factors limiting the growth of indigenous tree seedlings planted on degraded rainforest soils in Sabah, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 74: 149-159.
- Oestreicher, J.S., Farella, N., Paquet, S., Davidson, R., Lucotte, M., Mertens, F. and Saint-Charles, J. (2014). Livelihood activities and land-use at a riparian frontier of the Brazilian Amazon: Quantitative characterization and qualitative insights into the influence of knowledge, values and beliefs. *Human Ecology*, 42 (4): 521-540.
- Oestreicher, J.S. (2011). Map of the study region.
- Onyechi, Uchenna, A., Ibeanu, Vivienne, Nkiruka, Eme, Eze, P., Kelechi and Madubike. (2012). Nutrient, Phytochemical Composition and Sensory Evaluation Of Soursop (*Annona muricata*) Pulp and Drink in South Eastern Nigeria. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 12 (6) : 53-57.
- Parolin, P. (2012). Diversity of adaptations to flooding in trees of Amazonian floodplains. *Pesquisas. Botânicas*, 63: 7-28.
- Parolin, P. and Wittmann, F. (2010) *Vigorous tree growth in a flooded environment: flood adaptations and tree diversity in Amazonian floodplain forests*. Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development, Tropentag, University of Hamburg, Oct. 6-8, 2009.

- Passos, C.J.S., Mergler, D., Gaspar, E., Morais, S., Lucotte, M., Larribe, F., Davidson, R. and Grosbois, S. (2003). Eating tropical fruit reduces mercury exposure from fish consumption in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 93: 123-130.
- Paul, M., Catterall, C.P., Pollards, P.C. and Kanowsko, J. (2010). Does soil variation between rainforest, pasture and different reforestation pathways affect the early growth of rainforest pioneer species? *Forest Ecology and Management*, 260: 370-377.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. and McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, 4, 439-473.
- Pinto, A.A., Teles, B.R., dos Anjos, N. and Couceiro, S.R.M. (2013). Predação de sementes de andiroba (*Carapa Guianensis* Aubl. e *Carapa procera* DC. (meliaceae)) por insetos na Amazônia. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 37 (6): 1115-1123.
- PLUPH. (2016). *Poor Land Use, Poor Health* project website. www.pluph.uqam.ca.
- Posey, D.A., Frechione, J., Eddins, J., da Silva, L.F., Myers, D., Case, D. and Macbeath, P. 1984. Ethnoecology as Applied Anthropology in Amazonian Development, *Human organization*, 43 (2), 13 p.
- Puértolas, J, Gil, L. and Pardos, J.A. (2003). Effects of nutritional status and seedling size on field performance of *Pinus halepensis* planted on former arable land in the Mediterranean basin. *Forestry*, 76 (2): 159-168.
- Queiroz Pinto, A.C, Silva, D.J. and Pinto, P.A.C. (2009). Mangueira, Chapter 7 in *Fruteiras tropicais do Brasil*. Crisóstomo, L.A. and Naumov, A.N. (Eds), p. 123-142.
- Quevedo Garcia, E. (1995). Aspectos agronomicos sobre el cultivo des araza (*Eugenia atipitata*) Frutal promisorio de la amazonia colombiana, *Agronomia Colombiana*, 6 (1): 27-65.
- Reardon, T. and Vosti, S. (1995). Links between rural poverty and the environment in developing countries: Asset categories and investment poverty. *World Development*, 23 (9): 1495-1506.

- Ribeiro, G.D. and Ferreira, M.G.R. (2008). *Comportamento inicial de duas fruteiras amazônicas e duas exóticas tropicais em Porto Velho, Rondônia: abiu gigante (Pouteria caimito (Ruiz & Pav.) Padlk), araçá-boi (eugenia stipitata Mc Vaugh), abricó (Mannea Americana Jacq.) e rambutan (Nephelium Lappaceum L.)*. Comunicado Técnico 335. Embrapa, Porto Velho, Rondônia, 6 p.
- Rodrigues, E. (2006). Plants and animals used as medicines in the Jaú National Park (JNP), Brazilian Amazon. *Phytotherapy research*, 20: 378-391.
- Roulet, M. and Lucotte, M. (1995). Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferrallitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. *Water, Air, and Soil Pollution*, 80 (1-4): 1079-1088.
- Roulet, M., Lucotte, M., Saint-Aubin, M., Tran, S., Rheault, I., Farella, N., de Jesus da Silva, E., Dezencourt, J., Sousa Passos, C.J., Santos Soares, G., Guimaraes, J.R., Mergler, D. and Amorim, M. (1998). The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará state, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 223: 1-24.
- Rozon, C., Lucotte, M., Davidson, R., Oestreicher, J.S., Paquet, S., Mertens, F., Sousa Passos, C., and Romana, C. (2015). Spatial and temporal evolution of land use in the Tapajós region of the Brazilian Amazon. *Acta Amazonica*, 45 (2): 203-214.
- Rufino, M.C.M., Pérez-Jiménez, J. Arranz, S, Alves, R.E., Brito, E.S., Oliveira, M.S.P. and Saura-Calixto, F. (2011). Açaí (Euterpe oleraceae) « BRS Pará »: A tropical fruit source of antioxidant dietary fiber and high antioxidant capacity oil. *Food Research International*, 44: 2100-2106.
- Salati, E. (1985). The climatology and hydrology of Amazonia. In *Key Environments. Amazonia*, Prance G.T. and Lovejoy T.T. (Eds.), Oxford: Pergamon Press, p.18-48.
- Santana, A.C., Campos, P.S. da Silva, Ramos, T.J.N., Galate, R.R. dos Santos and Mota, A.V. (2011). O mercado de frutas no estado do Pará: 1985 a 2005. *Revista de Estudos Sociais*, 26 (13), p. 174.
- SAS Institute. (2003). JMP – versions 7.0.1 and 10. Computer statistical software. Cary, NC, USA.
- São José, A.R., Pires, M.M., Gomes, A.L., Freitas, E., Ribeiros, D.P. and Perez, L.A.A. (2014). *Atualidades e perspectivas das anonáceas no mundo*, 36: 86-93.

- Schoereder, J.H. and da Silva, W.L. (2008). Leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) and soil classes: Preference, survival and nest density. *Sociobiology*, 52: 403-415.
- Scoles, R., Gribel, R. and Klein, G.N. (2011). Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. *Bol. Mus. Pará. Emilio Goeldi. Cienc. Nat.*, Belém, 6 (3): 273-293.
- Semedo, R.J and Barbosa, R.I. (2007). Árvores frutíferas nos quintais urbanos de Boa Vista, Roraima, Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 37 (4): 497-504.
- Silva, G.L., Lima, H.V., Campanha, M.M., Gilkes, R.J. and Oliveira, T.S. (2011). Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma*, 67-168: 71-70.
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd Edition*. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington D.C. 871 p.
- Sorrensen, C. (2009). Potential hazards of land policy: Conservation, rural development and fire use in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 26: 782-791.
- Struve, D.K. (2009). Tree Establishment: A Review of Some of the Factors Affecting Transplant Survival and Establishment. *Arboriculture & Urban Forestry*, 35 (1): 10-13.
- Synergy Software Reading. Kaleidagraph 4.1.2. PA, USA.
- Tornquist, C.G., Honsb, F.M., Feagley S.E. and Hagggar, J. (1999). Agroforestry system effects on soil characteristics of the Sarapiquí region of Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 73: 19-28.
- Tremblay, S., Lucotte, M., Reveret, J.-P., Davidson, R. Mertens, F., Passos, C.J. and Romana, C.A (2015). Agroforestry systems as a profitable alternative to slash and burn practices in small-scale agriculture of the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, 89 (2): 193-204.

- Tripoli, T., La Guardia, M., Giammanco, S., Majo, D.D. and Giammanco, M. (2007). Citrus flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties: A review. *Food Chemistry*, 104: 466-479.
- Tsakalimi, M., Ganatsas, P. and Jacobs, D.F. (2012). Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forests*, DOI 10.1007/s11056-012-9339-3.
- Vitousek, P.M. and Sanford, R.L. (1986). Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17: 137-167.
- Vosti, S.A. and Witcover, J. (1996). Slash-and-burn agriculture household perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 58; 23-38.
- Watanabe, T. and Osaki, M. (2002). Mechanisms of adaptation to high aluminum condition in native plant species growing in acid soils: a review. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 33 (7-8): 1247-1260.
- Went, F.W. (1973). Competition Among Plants. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 70 (2): 585-590.
- Wright, S.J. (2002). Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia*, 130: 1-14.

CHAPITRE III

REDUCTION OF SOIL EROSION AND MERCURY LOSSES IN AGROFORESTRY SYSTEMS COMPARED TO CULTIVATED FIELDS IN THE BRAZILIAN AMAZON

Béliveau, A.; Lucotte, M.; Davidson, R.; Paquet, S.;
Mertens, F.; Passos, C.J. et Romana, C.A.

(Cet article sera soumis à *Journal of Environmental Management*)

Reduction of soil erosion and mercury losses in agroforestry systems compared to cultivated fields in the Brazilian Amazon

Béliveau, A.; Lucotte, M.; Davidson, R.; Paquet, S.;
Mertens, F.; Passos, C.J. and Romana, C.A.

Abstract

In addition to causing physical degradation and nutrient depletion, erosion of cultivated soils in the Amazon affects aquatic ecosystems through the release of natural soil mercury (Hg) towards lakes and rivers. While traditional agriculture is generally cited as being among the main causes of soil erosion, agroforestry practices are increasingly appreciated for soil conservation. This study, carried out in family farms of the rural Tapajós region (Brazil) aimed at evaluating soil erosion and associated Hg release for three land uses. Soils, runoff water and eroded soil particles were collected at three sites representing a land cover gradient: a recently burnt short-cycle cropping system (SCC), a 2-year-old agroforestry system (AFS) and a mature forest (F). At each site, two PVC soil erosion settings (each composed of three 2 x 5 m isolated quadrats) were implemented on steep and moderate slopes respectively. Sampling was done after each of the 20 rain events that occurred during a 1-month study period, in the peak of the 2011 rain season. Runoff volume and rate, as well as eroded soil particles with their Hg and cation concentrations were determined. Total Hg and cation losses were then calculated for each quadrat. Erosion processes were dominated by land use type over pluviometry or soil slope. Eroded soil particles, as well as the amount of Hg and cations (CaMgK) mobilized at the AFS site were similar to those at the F site, but significantly lower than those at the SCC site ($p < 0.0001$). Erosion reduction at the AFS site was mainly attributed to the groundcover vegetation characterizing the recently established system. Moreover, edaphic change throughout AFS and F soil profiles differed from the SCC site. At the latter site, losses of fine particles (fp) and Hg were enhanced towards soil surface, while they were less pronounced at the other sites. This study shows that agroforestry systems, even in their early stages of implementation, are characterized by low erosion levels resembling those of local forest environments, thus contributing to the maintenance of soil integrity and to the reduction of Hg and nutrient mobility.

Key-words:

Soil loss, soil Hg mobility, runoff, agroforestry, land use, groundcover, slash-and-burn cultivation, Amazon.

Réduction de l'érosion des sols et des pertes de mercure (Hg) dans des systèmes agroforestiers et dans des champs de cycle court en Amazonie brésilienne

Béliveau, A.; Lucotte, M.; Davidson, R.; Paquet, S.;
Mertens, F.; Passos, C.J. et Romana, C.A.

Résumé

En plus de causer la dégradation physique et l'épuisement des sols agricoles en Amazonie, l'érosion affecte les écosystèmes aquatiques par le transfert du mercure (Hg) naturel des sols vers les cours d'eau. Alors que l'agriculture traditionnelle est reconnue comme étant une des principales causes de l'érosion, l'agroforesterie est de plus en plus appréciée pour ses effets bénéfiques pour la conservation des sols. L'objectif de cette étude, réalisée dans des fermes familiales de l'Amazonie brésilienne, est d'évaluer les niveaux d'érosion du sol et la libération du Hg associé à trois types d'usages de la terre. Des échantillons de sol et d'eau de ruissellement ont été prélevés sur trois sites représentant un gradient de couverture végétale : un système de culture de cycle court sur brûlis, un système agroforestier (SAF) de 2 ans et une forêt mature. Dans chaque site, deux dispositifs de collecte faits en PVC (chacun constitué de trois quadrats isolés de 2 x 5 m) ont été implantés respectivement sur deux pentes d'inclinaison faible et modérée. Les sites ont été échantillonnés après chacun des 20 événements de pluie ayant eu lieu au cours d'une période de 1 mois, au plus fort de la saison des pluies de 2011. Le volume d'eau de ruissellement, ainsi que la quantité et densité de particules érodées du sol de même que leurs concentrations en Hg et en cations ont été déterminées. Les pertes totales de Hg et de cations ont ensuite été calculées pour chaque quadrat. Les processus d'érosion ont été influencés davantage par le type d'usage de la terre plutôt que par la pluviométrie et la pente. Les pertes de sol, de Hg et de cations basiques (CaMgK) dans le SAF étaient semblables à celles de la forêt, mais significativement inférieures à celles du système de cycle court ($p < 0,0001$). La réduction de l'érosion dans le SAF a été principalement attribuée à la couverture végétale du sol caractérisant la jeune plantation. En outre, les propriétés édaphiques du SAF et de la forêt étaient distinctes de celles du champ de cycle court. Dans ce dernier site, des pertes de particules fines (pf) et de Hg ont été observées vers la surface du sol, alors que les pertes étaient moins prononcées dans les autres sites. Ce projet montre que les systèmes agroforestiers, même récemment implantés, ont de faibles niveaux d'érosion semblables à ceux des milieux naturels, contribuant ainsi à la préservation de l'intégrité du sol et à la réduction de la mobilité du Hg et des nutriments.

Mots-clés :

Perte de sol, mobilité du Hg du sol, ruissellement, agroforesterie, usage de la terre, végétation du sol, agriculture sur brûlis, Amazonie.

Redução da erosão do solo e perda de mercúrio (Hg) em plantações agroflorestais e em roças tradicionais de ciclo curto na Amazônia brasileira

Béliveau, A.; Lucotte, M.; Davidson, R.; Paquet, S.;
Mertens, F.; Passos, C.J. e Romana, C.A.

Resumo

A erosão do solo causa a degradação física e o esgotamento das terras, além de afetar os ecossistemas aquáticos, através da liberação do mercúrio (Hg) natural dos solos que é carregado para lagos e rios. Enquanto a agricultura tradicional é considerada a principal responsável pela erosão do solo, as práticas agroflorestais são apreciadas enquanto técnicas de conservação do solo. Este estudo foi realizado em lotes de agricultura familiar na Amazônia Brasileira e teve como objetivo avaliar a erosão do solo e a liberação do Hg em três tipos de uso da terra. Amostras de solos, água de escoamento e partículas erodidas do solo foram coletadas em três locais que representam um gradiente de cobertura da terra: uma roça de ciclo curto recentemente queimada, um sistema agroflorestal (SAF) de dois anos de idade e uma floresta madura. Em cada local, dois dispositivos de coletas em PVC (cada um dividido em três quadrantes isolados de 2 x 5 m) foram implementados em dois declives diferentes. A amostragem foi realizada depois de cada um dos 20 eventos de chuva que ocorreram durante um período de um mês, no pico da estação das chuvas de 2011. Foram determinados o volume de escoamento, a densidade e quantidade total de partículas de solo erodidas e suas concentrações de Hg e cátions. As perdas totais de Hg e cátions por metro quadrado foram calculadas. Os processos de erosão foram principalmente associados ao tipo de uso da terra, enquanto a pluviometria e o declive das parcelas tiveram uma influência secundária. As partículas de solo, o Hg e os cátions básicos (Ca, Mg e K) mobilizados no SAF foram semelhantes às da floresta, mas foram significativamente menor do que aquelas da roça ($p < 0,0001$). A redução da erosão no SAF foi atribuída principalmente à cobertura vegetal do solo que caracterizou o sistema em transição. Além disso, as propriedades edáficas no SAF e na floresta foram diferentes das propriedades dos solos da roça. As perdas de partículas finas (fp) e do Hg foram mais elevadas nas camadas superiores do solo da roça e menores nos outros locais estudados. Assim, os sistemas agroflorestais recentemente implementados apresentam níveis de erosão similares aos níveis naturais, o que confirma que as práticas agroflorestais podem contribuir para a preservação da integridade do solo e para a redução da mobilidade do Hg e nutrientes.

Palavras chaves :

Perda de solo, mobilidade do Hg do solo, escoamento superficial, agroflorestaria, uso da terra, cobertura vegetal do solo, agricultura de corte e queima, Amazônia.

1. Introduction

Soil erosion is considered a serious environmental issue because of its important impacts on terrestrial and aquatic environments (Ledermann et al., 2010; Lü et al., 2007), as well as on human populations (Wei and Fù, 2009; Alfsen et al., 1996). Soil erosion is a complex phenomenon that is intrinsically related to landscape evolution. Although it can be of natural origin, anthropogenic activities, and more specifically agriculture, are identified as being a main cause of the problem (Enters, 1998). Indeed, certain types of agricultural methods are accompanied by marked soil disturbance by rain or wind. This often results in increased erosion of top soil horizons, leading to nutrient weathering, fertility loss and altered soil structure and texture (Chaplot and Le Bissonnais, 2000; Lal, 2001). Soil erosion can impact plant nutrition and development, and consequently, affect agricultural sustainability (Lü et al., 2007; Saragoni et al., 1990), either in family farms or in larger productions (Alfsen et al., 1996; Enters, 1998). In addition, the transfer of soil particles and chemical elements towards aquatic ecosystems can lead to changes in water pH, nutrient enrichment, excessive sedimentation (Enters, 1998; Lü et al., 2007; Markewitz et al., 2001), as well as to the release of pesticides and heavy metals (Willis and McDowell, 2009; Roulet et al., 1999; 2000).

Erosion of cultivated soils poses a particular concern in the tropics due to the strong rainfalls and low fertility often characterizing these environments (Enters, 1998; Alfsen et al., 1996). In the Amazon, unrestrained forest conversion to agricultural fields through slash-and-burn is widely appreciated by local farmers since it is a rapid way of obtaining a cultivable land (Benhin, 2006; Christanty, 1986), but causes increased runoff and soil erosion (Sternberg, 1987). Indeed, although ash deposition following forest combustion leads to a rapid soil fertility increase (Cochrane and Sánchez, 1982), nutrients in cleared areas are then quickly washed out by frequent

and intense precipitation (Nye and Greenland, 1964; McGrath et al., 2001), resulting in marked and rapid edaphic changes at soil surface horizons (Béliveau et al., 2015).

Furthermore, land use change and subsequent soil erosion have been related to mercury (Hg) contamination of aquatic ecosystems. Indeed, past studies carried out in the Tapajós region (Farella et al., 2001; 2006; Béliveau et al., 2009), as well as in other parts of the Amazon (Maurice-Bourgoin et al., 2003; Mainville et al., 2006; Almeida et al., 2005), have established a relationship between deforestation, erosion and the mobility of natural soil Hg, and its release to surrounding lakes and rivers (Roulet et al., 2000; Oestreicher et al., 2015). Once Hg reaches aquatic systems, it may be methylated and then bioaccumulated throughout the food chain (Sampaio et al., 2006), posing a risk for the health of local populations who are exposed to the contaminant through regular fish consumption (Fillion et al., 2006; Maurice-Bourgoin et al., 2000).

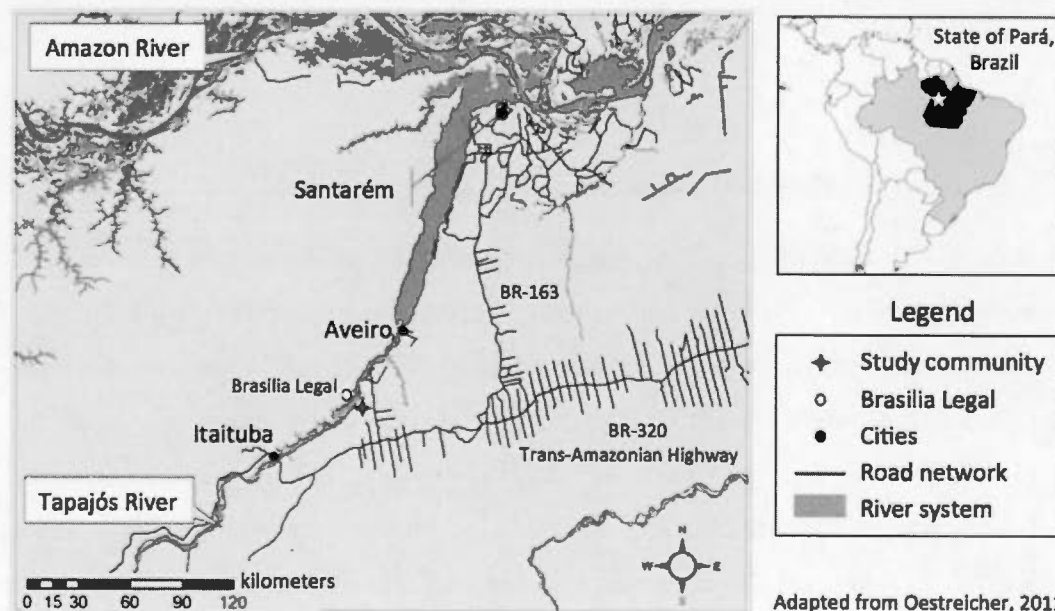
Considering the pronounced impacts of traditional agriculture and associated erosion, alternative farming methods inspired from agroecology principles may represent interesting avenues for limiting soil and ecosystem degradation (Altieri and Nicholls, 2012), while being environmentally and economically viable (Chapter 1; Tremblay et al., 2015). Agroforestry is generally appreciated for soil conservation and erosion reduction (Long and Nair, 1999) as well as for its positive effects on soil fertility (Alfaia et al., 2004), but its impact on soil Hg mobility has not yet been analyzed. The objective of the current study, which was part of the *Poor Land Use, Poor Health* research initiative that took place of the Tapajós region (PLUPH, 2016), was thus to experiment agroforestry as an alternative model to traditional slash-and-burn cultivation that could potentially contribute to limit soil erosion and associated Hg mobility.

2. Methods

2.1. Study region

This study took place in the lower Tapajós (Pará State, Brazilian Amazon) (Fig. 1), a region that has been marked by important demographic, socioeconomic and environment changes over the last 50 years, as a result of the arrival of thousands of families who migrated to the Amazon in order to establish small-scale family farms and ranches (De Espindola et al., 2012; De Mello and Théry, 2003; Margulis, 2004). Deforested surfaces have drastically expanded in the last decades in the Tapajós (Rozon et al., 2015), and forest loss is expected to continue in the future due to the increasing presence of large infrastructure projects and to the dynamics of resource and land exploitation in the region (Nepstad et al., 2000).

Fig. 1. Map of the study region



Data collection took place in São Tomé, a rural settlement located near the community of Brasília Legal (in the municipality of Aveiro). Subsistence agriculture and fishing are the main activities, representative of most riparian communities of the region (Oestreicher et al., 2014). More precisely, the studied sites are found in the watershed of the lake Ipanema (basin surface = 17 km²), where the landscape has been considerably transformed over the last decades. Indeed, deforested areas (combining bare soils, pasture and crop lands) represented almost 40 % of the basin surface in 2009 (Rozon et al., 2015; Oestreicher et al., 2015). Topography is mostly uneven, and more than 32% of the Ipanema watershed has a slope of more than 10 % (mean slope = 8 %). The climate of the Tapajós region is defined as “Am” (A = tropical climate, m = Monsoon rainfall regime) according to the Köppen-Geiger classification (Peel et al., 2007), and is characterized by a marked dry season, distinctly to other parts of the Amazon (Fitzjarrald et al., 2008). The region’s annual pluviometry ranged from 2050 to 2720 mm between 2008 to 2012 at the Itaituba meteorological station (INMET, 2015).

2.2. Site description and soil erosion settings

Runoff and soil erosion were measured at three sites representing a gradient of vegetation cover: a recently burnt short-cycle cropping system (SCC), a 2-year-old agroforestry system (AFS), and a mature forest (F). The AFS consisted of a multi-purpose tree system with mixed ground vegetation and grasses covering more than 90% of the soil. The SCC was a 4-month-old cassava field and was characterized by a mainly bare soil (more than 85% exposed). As for the F, natural vegetation and dead leaves covered most of the ground, and bare soil represented less than 13% of the area. Soils of the studied sites were representative of most of the study region’s soils, which are generally acid (Jordan, 1985) and characterized by a highly weathered mineral horizon consisting mostly of iron and aluminum oxide-rich clays, as well as

by relatively elevated natural mercury (Hg) contents (Roulet and Lucotte, 1995; Roulet et al., 1998). Soil textural classes were determined according to the United States Department of Agriculture's classification, which is based on the proportion of sand, silt and clay particles composing a given soil sample (USDA, 2015). At the SCC and AFS sites, soil surface was predominantly loamy, while the F site had a clayey texture. All sites had finer-grained subsurface horizons compared to soil surface. General information about the studied erosion settings is summarized in Table 1.

Table 1. Studied sites characteristics

Site	Site characteristics	Moderate slope	Steep slope
Short-cycle crop system (SCC) 03°58'76" S - 055°32'46" W	Mean slope	20.6 %	42.8 %
	Soil textural class at 0-5 cm	Loamy sand	Sandy loam
	Soil textural class at 50-55 cm	Sandy clay	Sandy clay
	Bare soil	90 %	86 %
	Type of soil cover	Diverse	Dead leaves
	Canopy cover	0 %	0 %
Agroforestry system (AFS) 03°58'82" S - 055°32'42" W	Mean slope	20.7 %	44.8 %
	Soil textural class at 0-5 cm	Sandy loam	Sandy clay
	Soil textural class at 50-55 cm	Sandy clay	Sandy clay
	Bare soil	8 %	7 %
	Type of soil cover	Diverse	Diverse
	Canopy cover	0 %	0 %
Forest (F) 03°58'47" S - 055°32'70" W	Mean slope	22.4 %	35.1 %
	Soil textural class at 0-5 cm	Sandy clay loam	Sandy clay
	Soil textural class at 50-55 cm	Clay	Clay
	Bare soil (%)	8 %	13 %
	Type of soil cover	Dead leaves	Dead leaves
	Canopy cover	75 %	60 %

Two erosion settings were implemented at each of the three sampling sites, respectively on a moderate slope location and on a steep slope location with vegetation cover representative of the overall site vegetation. Each setting consisted of an isolated PVC quadrat (6 m x 5 m) that was divided in order to obtain three juxtaposed 2 m x 5 m (10 m²) inclined surfaces, oriented with the slope. Each isolated inclined surface was connected to a 25 L bucket installed at its lowest end, buried into the soil. This design allowed the collection of runoff water in triplicate from each erosion setting. Plot inclination was measured with a clinometer at three places in each 10 m² replicate, and the mean slope for each replicate was then calculated. General setting inclination was then calculated from the mean value of its three replicates.

2.3. Data collection

Field research was conducted between March 11th and April 9th 2011, corresponding to the peak of the wet season in the study region (INMET, 2015). Pluviometry was recorded during the whole fieldwork period.

a) Pluviometry measurements

Rainfall was measured with a tipping RainLog Data Logger (RainWise Inc, Bar Harbour, Maine, USA), calibrated to 0.25 mm per tip. The pluviometer was installed in the AFS site, at less than 1.5 m above the soil and far enough from plantation margins and from planted trees to avoid any interference with rainfall recordings.

b) Surface runoff water and eroded soil particles sampling

Surface runoff water and eroded soil particles were collected after each of the rain events that occurred during the study period. As soon as a single rainfall ended, the three study sites were visited, and the amount of water accumulated in each bucket was noted (water height was measured with a rigid rule and then multiplied by the surface of the bucket to obtain runoff water volume). Water was then stirred with a clean large spoon to put eroded particles in suspension, and a subsample was quickly collected and transferred into 500 ml plastic bottles.

b) Soil sampling

Three representative soil samples were retrieved at each studied site, two at a distance of one meter from each erosion setting and the third one between them. Litter, leaves and branches at the soil surface were removed, and soil samples were collected at the 0-5 cm and 50-55 cm horizons. These sampling depths were consistent with previous research carried out in the study region, which showed that pedological and geochemical properties (e.g. soil texture, total Hg) and processes (such as soil erosion and Hg mobility) changed markedly after the first 5-6 cm under the surface following land use changes (Roulet and Lucotte, 1995; Roulet et al., 1998; Farella et al., 2006, Béliveau et al., 2009; Béliveau et al., 2015). Moreover, since edaphic properties are relatively constant throughout the soil below a depth of 30-35 cm (Roulet et al. 1998), the 50–55 cm horizon was sampled to represent undisturbed conditions.

Soils were collected with a 100 cm³ AMS stainless steel soil core sampler (AMS, American Falls, Idaho, USA). Most of the soil moisture was lowered through air-drying, and then, oven drying (at 40° Celcius, until constant weight) was used to remove the rest of sample humidity before analyses.

2.4. Laboratory analyses

a) Soil

Samples were weighed in order to calculate bulk density (dry weight/cm³). Then, after having been sieved through a 2 mm grid to remove small stones and coarse organic debris, each sample was divided in two. One part was reduced to a fine and homogeneous powder with a 8000 M Mixer/Mill steel percussion grinder (SPEX SamplePrep, Metuchen, NJ, USA), freeze-dried at -40° Celcius in order to remove interstitial soil water (Labconco Freeze Dryer 4.5, Kansas City, USA), and then used for Hg analyses. A minimum of 50 g of each sample was kept untreated for granulometric fractionation, cation analyses and pH measurement.

Total Hg was extracted with HCl and was then measured by atomic fluorescence (Pichet et al., 1999). Available cations such as calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), manganese (Mn), aluminum (Al), and iron (Fe) were extracted with barium chloride (BaCl₂). Cations were measured by atomic absorption (ARL 906AA, GBC Scientific Equipment, Melbourne, Australia) with acetylene-air flame, except for Ca and Al, which were analyzed with acetylene-protoxyde flame according to Hendershot et al. (1993)'s method. Replicates and analytical blanks were included in each analysis.

Bouyoucos method (MEQ, 2003) was used for the wet fractionation of unprocessed samples into three groups of fine (clay), medium (loam) and coarse (sand) particles, and for the subsequent determination of soil textural class from weighed dried fractions (USDA, 2015). Throughout this paper, fine particles (< 2 µm) will be referred to as "fp", and coarse particles (53 µm-2mm) as "cp". Soil Hg concentration was measured on each of the studied soil fractions. Throughout this paper, Hg associated to soil fine and coarse fractions will respectively be expressed as Hg-fp and Hg-cp.

b) Eroded soil particles

Eroded soil particles were collected in surface runoff water samples through centrifugation at 3000 rpm (Beckman Coulter Inc. centrifugator, Alegria 6 model, Palo Alto, California). Hg and cation concentrations on these particles were measured with the methods described previously. Granulometry of eroded particles was determined after humid fractionation of particle sub-samples. Using sieves with three different meshes, we distinguished 1) a fine fraction roughly representing clay and silt with diameters smaller than 63 μm , 2) a medium fraction with particle sizes comprised between 63 and 210 μm , and 3) a coarse fraction with particle sizes ranging from 210 μm to 2 mm. This classification was used in previous studies about soil Hg mobilization and transfer that were carried out in the Tapajós Region (Farella et al., 2006; Béliveau et al., 2009), and was maintained because significant relationships have been found between these granulometric fractions and soil physicochemical variables.

2.5. Data analyses

a) Rain event characterization

A total of 20 rain events occurred during the study period. However, three events that caused the sampling buckets to overflow were not used in the analyses. Rain events were characterized following a method based on the *minimum inter-event time* (MIT) approach, through which rain events were distinguished one from another when the *inter-event time* (IET – period between the end of the rainfall recorded by the pluviometer and the beginning of a new rainfall) lasted at least 3 hours. The choice of this criterion to discriminate rain events was made after a comparative study of different MITs used in previous studies. MIT of 3 hours was adopted, consistently with past studies realized in the Central Amazon (Lloyd, 1990). The use of longer MIT to distinguish separate rain events was not appropriate for this project because of

the precipitation pattern characterizing the study region, which consisted of relatively abundant and frequent rainfalls. Short rainfalls (records of less than 1 mm or single tips) were not considered as events and were not included in the calculations and analyses.

b) Soil characteristics

Soil properties of studied sites were compared using Anova or Kruskal-Wallis tests (according to data distribution), for both the 0-5 cm and 50-55 cm horizons. Soil property changes along soil profiles were then compared between studied sites through multivariate analyses of variance (Manova), using the means of all soil samples of a given horizon and of a given site.

c) Soil erosion indicators

Soil erosion indicators i.e. surface runoff volume, soil particles density, total soil loss, Hg and cation concentrations on eroded soil particles, as well as total Hg and cation losses were calculated. Multiple correlations were used in order to verify if significant relationships existed between the studied erosion indicators and specific site and pluviometry parameters (precipitation volume, mean and peak rainfall intensity, vegetation cover %, slope and canopy cover). Additional simple correlations were done to verify the significance and strengths of specific relationships between some of the studied erosion indicators (for example, between Hg and cation losses).

Erosion indicators were then compared according to land uses and slopes. For each erosion indicator, means were first calculated for the whole sampling period (for all rain events, except the three events that were excluded), per site and slope. Then, sites with a given slope were compared with Wilcoxon multiple comparison tests for non-

parametric data, since most of the data were not distributed normally. Finally, moderate vs. steep slopes for a given site were compared using Wilcoxon tests.

Statistical significance was determined at $p < 0.05$ for all analyses. All tests were performed using the JMP software, versions 7.0.1 and 10 (SAS Institute, Cary, NC, USA). Graphs and figures were done with Kaleidagraph 4.1.2 (Synergy Software Reading, PA, USA).

3. Results

3.1. Rain events

Most rain events occurred at late afternoon or at night. During the whole field study, 10 days (almost 1/3 of the sampling period) did not receive precipitation. Intervals between rain events (inter-event time or IET) were highly variable, and lasted up to 80 hours. Rainfalls duration and intensity also varied strongly (Table 2). Depending on the event, total precipitation (PPT) ranged from 0.8 mm to 79 mm (mean = 15 mm), while their duration varied from 21 minutes to almost 30 h (mean = 9h33). During the field study period, water level rose 75 cm (mean of 2.4 cm/day) in the Ipanema Lake located near the sampling sites.

Table 2. Rain events

Rain event # and date	Total PPT (mm)	Event duration (hr : min)	Mean intensity (mm/hr)	Peak intensity (mm/hr)
1 - (11-03 am)*	49.9	29:46	1.7	30.5
2 - (11-03 pm)	5.8	2:34	2.2	14.0
3 - (12-03)	6.0	5:12	1.2	2.8
4 - (15-03)	6.3	4:05	1.5	3.4
5 - (19-03)	16.7	2:55	5.7	31.7
6 - (20-03)*	79.0	6:11	12.8	53.8
7 - 22-03)	13.3	11:53	1.1	3.6
8 - (23-03)	8.3	1:15	6.6	8.6
9 - (26-03)	1.5	0:21	4.3	4.3
10 - (26-03)	8.1	1:23	5.8	13.1
11 - (27-03)	12.8	3:18	3.9	8.6
12 - (28-03)	1.3	17:31	0.1	9.0
13 - (30-03)	19.6	19:51	1.0	16.4
14 - (31-03)	7.0	12:04	0.6	8.1
15 - (01-04)	6.8	16:05	0.4	9.0
16 - (02-04)*	39.2	19:46	2.0	30.5
17 - (05-04)	0.8	0:22	2.0	2.0
18 - (06-04)	8.1	6:49	1.2	25.2
19 - (07-04)	6.3	11:05	0.6	3.9
20 - (08-04)	4.0	17:54	0.2	6.3
Mean \pm SD	15.0 \pm 19.5	9:33 \pm 8:19	2.7 \pm 3.08	14.2 \pm 13.50

*Rain events # 1, 6 and 16 caused the buckets to overflow and were not considered in the analyses. SE is the standard deviation.

3.2. Soil properties

At the 0-5 cm horizon, SCC and AFS soils were significantly denser and had a lower fp content than F soil (Table 3). SCC soil had significantly higher CaMgK and Ca concentrations than F soil, while AFS soil presented intermediary values. On the contrary, Fe and Al levels were significantly higher in F than at the two other sites.

However, surface Hg, Hg-fp, Hg-cp levels, as well as Mg, K and Mn concentrations, did not differ significantly among sites.

In subsurface horizons, edaphic differences among studied areas were less pronounced, and only soil physical properties remained contrasted. Indeed, fp contents at 50-55 cm were significantly higher in F soil than in the other sites, while soil density and cp % were higher in SCC and AFS.

Manova analyses showed that soil properties evolved distinctly along the soil profiles of studied sites. Indeed, SCC and AFS were both characterized by a marked granulometric textural change from soil surface to inferior horizons, which contrasted significantly with F site, where texture was less variable throughout soil profile. Moreover, Hg diminution towards soil surface was significantly more pronounced in SCC than in F, while AFS pattern was intermediate. Finally, CaMgK levels remained constant along F soil profiles, which contrasted significantly with SCC and AFS ones, where values increased markedly towards surface.

Table 3. Soil physicochemical properties at each sampling site

	Short-cycle crop system (SCC)		Agroforestry system (AFS)		Forest (F)	
	0-05 cm (mean \pm SD)	50-55 cm (mean \pm SD)	0-5 cm (mean \pm SD)	50-55 cm (mean \pm SD)	0-05 cm (mean \pm SD)	50-55 cm (mean \pm SD)
Physical prop.						
Density (g/cm^3)	1.35 \pm 0.087a	1.42 \pm 0.020a	1.38 \pm 0.021a	1.41 \pm 0.055a	1.17 \pm 0.046b	1.31 \pm 0.019b
fp %	13 \pm 6.5b	41 \pm 6.7b	20 \pm 5.2b	40 \pm 3.8b	36 \pm 4.7a	55 \pm 1.6a
cp %	81 \pm 7.3a	54 \pm 7.0a	73 \pm 5.3a	52 \pm 2.2ab	53 \pm 4.7b	41 \pm 0.4b
Soil Hg						
Tot Hg	47 \pm 15.7a	116 \pm 13.7a	48 \pm 13.6a	78 \pm 15.9a	80 \pm 17.5a	94 \pm 18.6a
Hg-fp	162 \pm 10.4a	NA	183 \pm 10.4a	NA	153 \pm 35.2a	NA
Hg-cp	18 \pm 9.6a	NA	17 \pm 4.9a	NA	11 \pm 2.1a	NA
Soil cations						
CaMgK	3.93 \pm 1.731a	0.33 \pm 0.159a	2.80 \pm 0.840ab	0.26 \pm 0.024a	0.58 \pm 0.205b	0.18 \pm 0.307a
Ca	3.04 \pm 1.179a	0.17 \pm 0.138a	2.09 \pm 0.801ab	0.15 \pm 0.014a	0.27 \pm 0.113b	0.08 \pm 0.010a
Mg	0.81 \pm 0.548a	0.07 \pm 0.056a	0.56 \pm 0.056a	0.07 \pm 0.015a	0.21 \pm 0.064a	0.05 \pm 0.035a
K	0.09 \pm 0.033a	0.09 \pm 0.067a	0.15 \pm 0.50a	0.04 \pm 0.010a	0.10 \pm 0.052a	0.05 \pm 0.059a
Mn	0.01 \pm 0.008ab	0.00 \pm 0.001a	0.03 \pm 0.009a	0.00 \pm 0.002a	0.01 \pm 0.004b	0.00 \pm 0.001a
Fe	0.00 \pm 0.002b	0.01 \pm 0.002a	0.01 \pm 0.007b	0.01 \pm 0.004a	0.14 \pm 0.017a	0.01 \pm 0.003a
Al	0.04 \pm 0.017b	0.71 \pm 0.176a	0.14 \pm 0.132b	0.99 \pm 0.231a	1.60 \pm 0.138a	0.81 \pm 0.036a

Different letters indicate that a significant difference existed between study sites for a given variable, at a given soil horizon (Anova or Kruskal-Wallis, $p < 0.05$). NA indicates that these variables were not analyzed for the 50-55 cm horizon.

3.2. Runoff and soil erosion

3.2.1. Relationships between erosion indicators, rain events and site characteristics

Multiple correlations revealed that most soil erosion indicators were more strongly related to groundcover % than to other site characteristics and rain event parameters (Table 4). Indeed, soil particle density in runoff water and total particle loss were mostly correlated with vegetation cover ($r = 0.5121$, $p < 0.0001$, and $r = 0.4515$, $p < 0.0001$, respectively). This was also the case for total Hg and cation loss. However, the concentration of Hg on eroded soil particles was principally correlated with canopy cover ($r = 0.7697$, $p < 0.0001$), while CaMgK concentration was mainly related to slope ($r = 0.2972$, $p < 0.0074$).

Table 4. Correlations between sites, rain events and soil erosion indicators

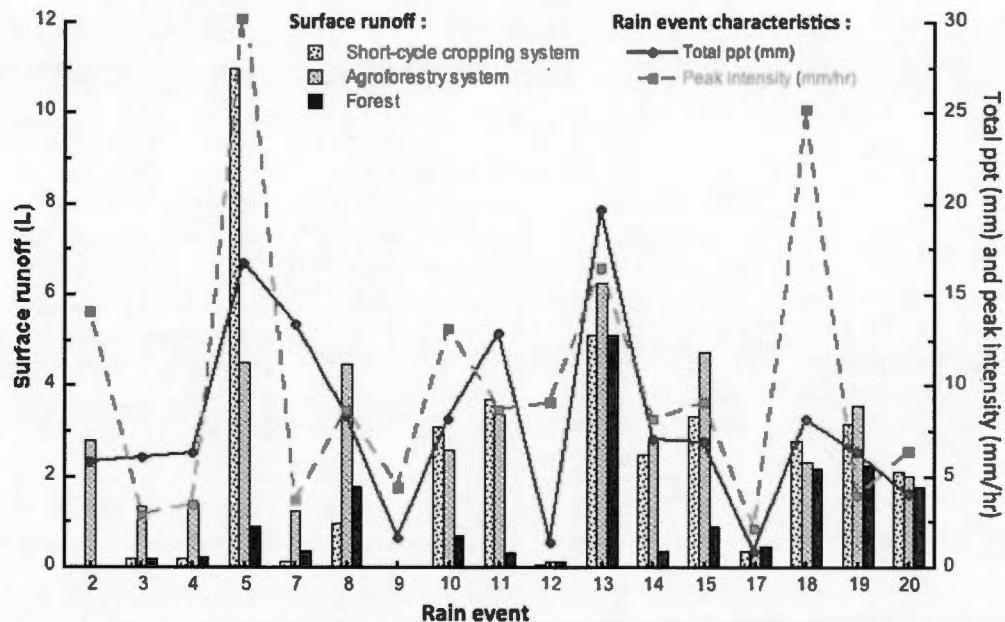
Erosion indicator	Site characteristics			Rain events			
	Slope	Ground cover	Canopy cover	Event length	PPT volume	Mean intensity	Peak intensity
Runoff vol. (L/m ²)	0.1921*	-0.2648*	-0.1618*	-0.1255*	0.4142*	0.1133*	0.3864*
Eroded part. density (g/L)	0.0571	-0.5121*	-0.2765*	-0.1282	0.1485	0.1556	0.0190
Total soil loss (g/m ²)	0.0472*	-0.4515*	-0.2396	-0.0592	0.2165*	0.1255	0.0249
[Hg] on erod. part. (ng/g)	-0.0566	0.4979*	0.7697*	-0.0805	-0.1660	0.0582	0.0615
Total Hg loss (ng/m ²)	0.2206*	-0.5245*	-0.2514*	0.0140	0.1852	0.0511	0.0000
[CaMgK] on eroded part. (cmol/kg)	-0.2972*	-0.0030	0.2096	-0.0317	-0.2437*	-0.0394	0.0293
Total CaMgK loss (cmol)	0.0460	-0.5419*	-0.3069*	0.0679	0.1799	0.1133	0.0037

Numbers are the r values for individual correlations, and the significant relationships are identified by asterisks. For each studied erosion indicator, the strongest relationship is highlighted in bold.

3.2.2. Influence of rain events variability on soil erosion indicators

The amount of surface runoff was significantly correlated with all studied parameters, but more strongly with total precipitation ($r = 0.4142$, $p < 0.0001$) and peak rain intensity ($r = 0.3864$, $p < 0.0001$). The strength of the relationships between surface runoff volume and rain event parameters varied according to location, with stronger correlations at the SCC site compared to AFS and F. Overall, the amount of surface runoff following the sampled rain events ranged from 0 to 5-6 L at AFS and F sites, and from 0 to 11 L at the SCC site (Fig. 2). The amount of runoff at F site was lower than that of SCC and AFS sites: 12 events resulted in an accumulation of less than 1 L of water in the F sampling buckets. Only one rainfall (# 9) did not cause runoff in any of the studied sites. In contrast, three times during the field study, strong rain events (# 1, 6 and 16) with peak intensity of more than 30 mm/hr caused the buckets to overflow at all sampling sites.

Fig. 2. Surface runoff associated to each rain event



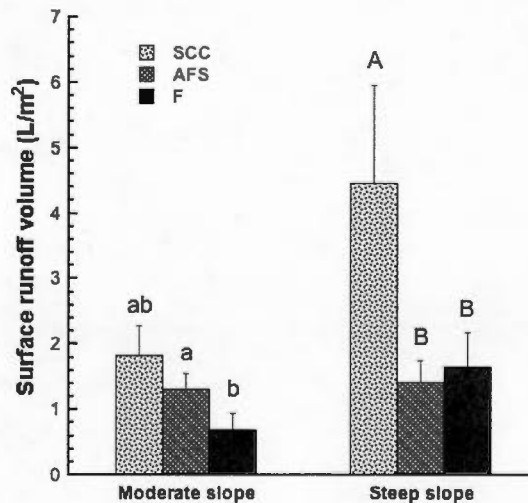
Although the relationships between rain events and soil erosion indicators (other than surface runoff volume) were weak when the three sites were grouped together, distinct patterns regarding the impacts of pluviometry variability emerged when sites were considered separately. Indeed, at the SCC site, significant relationships existed between total precipitation and almost all studied variables (i.e. runoff volume, eroded soil particles density, total soil particles loss, Hg concentration on eroded soil particles, and total Hg and CaMgK losses). In contrast, the strength of the relationships between erosion indicators and total precipitation was lower at the F and AFS sites.

3.2.3. Relationships between soil erosion indicators and land cover and slope

a) Surface runoff

On steep slopes, runoff was significantly higher at the SCC site than at the two other studied sites (AFS = $p < 0.0055$ and F = $p < 0.0151$). However, on moderate slopes, inter-site variations were less marked (Fig. 3). Furthermore, slope had a marked effect on runoff volume at the SCC site. Indeed, in the latter site, values were almost three times higher in the steep slope compared to the moderate slope. In contrast, at the other sites, runoff did not vary pronouncedly according to slope steepness.

Fig. 3: Mean surface runoff in studied sites and slopes



Different letters indicate that mean values differed significantly between studied sites, for a given slope ($p < 0.05$, Wilcoxon each pair multiple comparison test for non-parametric data). Error bars represent standard errors.

b) Soil particle loss

The highest soil particle loss was found at the SCC site, for both steep and moderate slopes. Eroded soil particle density in collected runoff water samples reached a mean of 54 g/L in SCC moderate slope, which represented about 30 times AFS and F

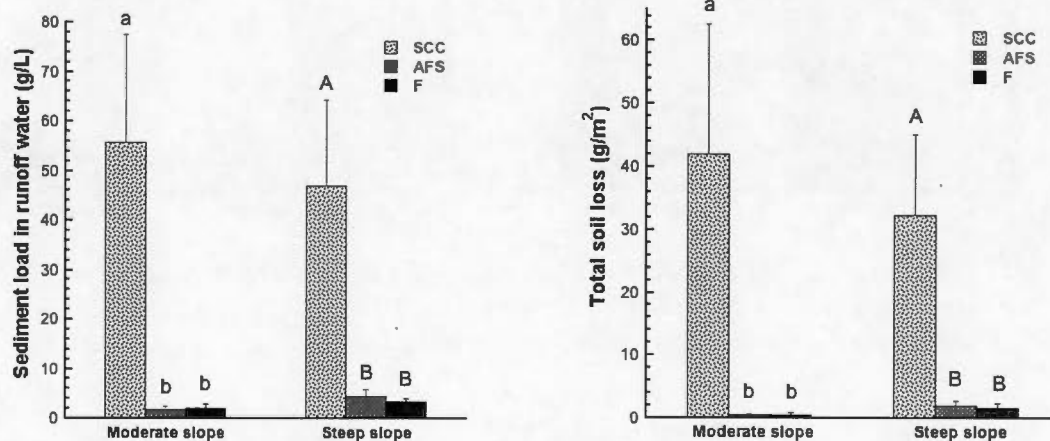
values (1.9 g/L and 2.2 g/L respectively). In contrast, no significant difference was observed between AFS and F eroded soil particles densities, in moderate slopes ($p < 0.6187$) as well as in steep slopes ($p < 0.7659$) (Fig. 4a).

Total particle loss was strongly correlated with runoff volume ($r = 0.3586$, $p < 0.0001$), but even more with soil particles density in runoff water ($r = 0.8561$, $p < 0.0001$). Mean values were significantly higher in SCC compared to AFS and F ($p < 0.0001$). In the latter sites, total soil particle loss was low (mean = 1.7-2.0 g/m²) in steep slopes, and negligible (mean = 0.5-0.6 g/m²) in moderate slopes (Fig. 4b). Moreover, the types of particle that were eroded varied according to soil texture. Indeed, soil particle lost from the finer-grained F site contained a higher proportion of fp than the two other sites.

Fig. 4: Mean soil particle loss in studied sites and slopes

a) Soil particle density in surface runoff

b) Total soil loss per m²

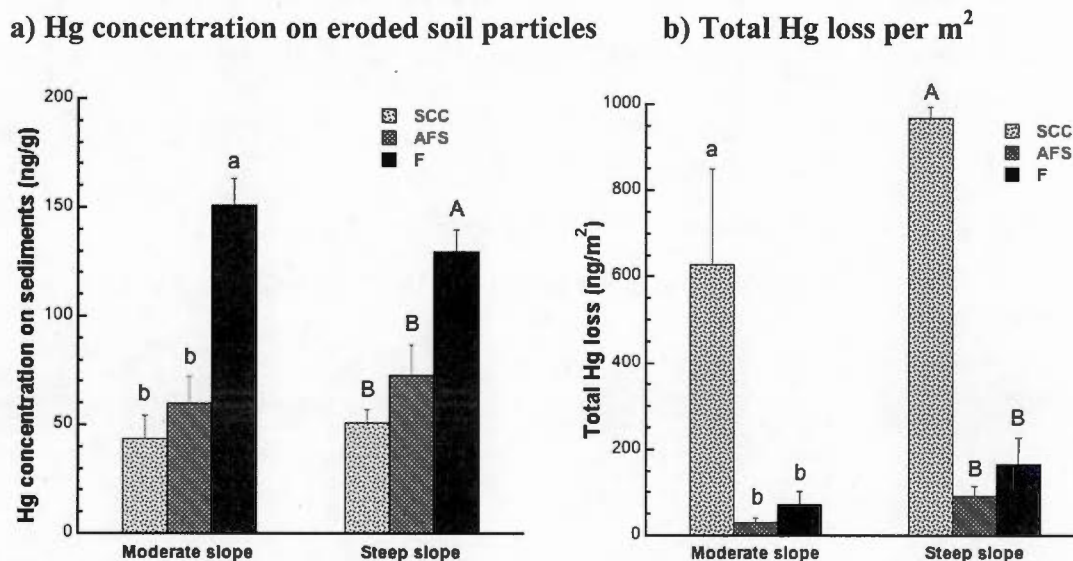


Different letters indicate that mean values differed significantly between studied sites, for a given slope ($p < 0.05$, Wilcoxon each pair multiple comparison test for non-parametric data). Error bars represent standard errors.

c) Soil Hg release

Overall, the mean Hg concentration on soil eroded particles was higher at the F site than at the two other sites (Fig. 5a). However, total Hg loss was markedly higher in SCC than in the AFS and F sites ($p < 0.0001$) (Fig. 5b). This was related to the strong correlation between total Hg loss and soil loss ($r = 0.9154$, $p < 0.0001$), and to the fact that total soil loss was much higher at the SCC site compared to the other studied areas.

Fig. 5: Soil Hg loss in studied sites and slopes



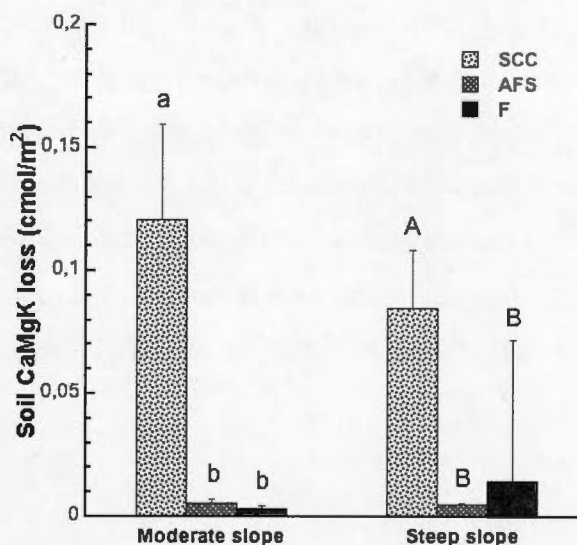
Different letters indicate that mean values differed significantly between studied sites, for a given slope ($p < 0.05$, Wilcoxon each pair multiple comparison test for non-parametric data). Error bars represent standard errors.

d) Soil cation mobility

SCC had significantly higher total cation loss compared to other studied areas, in both slope types (Fig. 6). Total cation loss was strongly correlated to total soil loss ($r = 0.9174$, $p < 0.0001$), as it was the case for Hg. Furthermore, a significant and strong

correlation between total cation loss and total Hg loss ($r = 0.8452$, $p < 0.0001$) was also observed.

Fig 6: Total soil CaMgK loss in studied sites and slopes



Different letters indicate that mean values differed significantly between studied sites, for a given slope ($p < 0.05$, Wilcoxon each pair multiple comparison test for non-parametric data). Error bars represent standard errors.

4. Discussion

4.1. Role of land use on soil erosion and soil surface properties

This project highlights the predominant influence of land use on soil erosion processes in comparison to slope and pluviometry parameters in the humid tropics. Indeed, the results of this study confirms that traditional agricultural practices are associated with an increased soil particle and nutrient mobility (Lü et al., 2007), while in contrast, agroforestry systems contribute efficiently to soil conservation (Long and Nair, 1999), among other by limiting the intensity of soil erosion processes, even at early development stages.

4.1.1. Reduced soil erosion and Hg weathering in agroforestry systems

This study confirms that soil erosion depends primarily on land use and supported the hypothesis that agroforestry systems are efficient for controlling soil erosion (Altieri and Nicholls, 2012; Long and Nair, 1999). The granulometry of displaced particles also reflects site soil texture (Podwojewski et al., 2008), which in turn is related to vegetation cover (Holmes et al., 2005). This is consistent with previous research reporting that land cover changes strongly influence the weathering of terrigenous particulate matter (Svoray and Ben-Said, 2010; Farella et al., 2001). Many studies have indeed found distinctly high levels of soil loss in short-cycle crop fields, compared to other types of systems such as fallows, tree gardens or agroforestry plantations (McDonald et al., 2002; Bruijnzeel, 2004; Valentin et al., 2008).

Land use also has a preponderant influence on the weathering of Hg. Indeed, in the studied sites, the trends for total Hg losses followed those of soil erosion, and comparable low levels of Hg were released from either the agroforestry system or the forest. In contrast, distinctively higher Hg mobility in the short-cycle cropland site reflected the higher soil erodability of that site (Valentin et al., 2008). Therefore, although the particles eroded in the agroforestry and forest sites had high Hg concentration due to their finer texture (Béliveau et al., 2009), the total amounts of Hg weathered at those sites were much lower than those of the cropland site. This study thus stresses that the amount of eroded soil particles, which mainly depends on land use, has a direct repercussion on total Hg release, confirming the efficiency of agroforestry systems for limiting soil Hg mobility.

The similar trends in Hg concentrations found along the agroforestry and forest soil profiles also support that agroforestry systems are as efficient as natural environments in terms of retention of the contaminant. The slightly more pronounced Hg change observed throughout the agroforestry soil profile compared to what was found in the

forest probably resulted from the initial burning that was practiced at the implementation stage of the agroforestry system. Hg mobility is indeed triggered by slash-and-burn in the first months following forest clearing (Farella et al., 2006; Béliveau et al., 2009). Such early Hg mobility probably existed in the very first stages of the studied agroforestry system, when the soils were still exposed. However, in contrast to the short-cycle crop field where the soils remained uncovered (Ribeiro Filho et al., 2013), agroforestry system soils are rapidly protected, as soon as native and planted vegetation starts to grow, which limits soil erosion and Hg mobility. Furthermore, contrary to slash-and-burn agriculture that usually involves several burning cycles, agroforestry systems generally imply a reduced use of fire, which reduces medium and long term soil erosion, and consequently, overall Hg loss with time. Past research indeed highlighted that Hg loss was enhanced with repeated burns (Patry et al., 2013), supporting the idea that the adoption of systems based on limited use of fire can contribute to restrict soil Hg release.

4.1.2. Contrasted impacts of land uses on soil fertility

The enhanced textural variations among studied sites superior soil horizons also reinforced that land use changes have strong impacts on soil texture and fertility (McGrath et al., 2001; Islam and Weil, 2000; Lü et al, 2007). In the current study, the rapid textural change observed in short-cycle cropland top soils confirms that most Amazonian soils, when exposed, are poorly resistant to disturbance and quite vulnerable to erosion (Cochrane and Sánchez, 1982). Fine particle loss and soil density increase following land cover changes in turn affect soil structure and fertility (Béliveau et al., 2015; Ribeiro Filho et al., 2013), as they play a key role in aggregation complexes and chemical bonding (Brady and Weil, 2002; Lü et al. 2007).

The amount of cations released in the current study depended on the overall soil particle loss within a given area, which in turn varies primarily with land use. It has been previously shown that land cover has a strong influence on nutrient mobility (Lü et al., 2007) and more specifically, that slash-and-burn cultivation fields generally have a weak nutrient retention capacity (Ribeiro Filho et al., 2013). In the current study, the high soil surface cation levels in the short-cycle crop site probably resulted from forest combustion fertilization (Nye and Greenland, 1964; Sommer et al. 2004), which may have enhanced the total amount of cations mobilized at that site.

However, it is widely documented that the rapid and massive cation input typically observed in slash-and-burn areas (Farella et al., 2007; Hölscher et al., 1997; Markewitz et al., 2004) is usually followed by an important nutrient release through soil erosion and runoff processes (Nye and Greenland, 1964; McGrath et al., 2001), which happens within the first year following the burn (Béliveau et al., 2015).

Fertilization is indeed an important contributor for enhanced nutrient mobility in agricultural areas (Lü et al., 2007). In the current project, although the studied agroforestry site also benefited from an initial slash-and-burn and chemical fertilization and therefore had elevated cation concentrations at soil surface, the much lower cation loss observed in that site, when compared to the short-cycle crop field highlighted the efficiency of agroforestry systems for nutrient retention. More generally, it confirmed the crucial impact of land cover on soil nutrient dynamics (McDonald et al., 2002; Lü et al., 2007).

4.2. Groundcover controlling soil erosion in young agroforestry systems

Although the studied 2-year-old agroforestry system does not have the structural properties of a mature forest (that is, a closed canopy and a developed root system), it was nonetheless efficient for limiting soil erosion, mainly due to the groundcover vegetation that characterized the young plantation. Indeed, while in natural

environments, low soil erosion levels are generally attributed to the combined effect of soil, litter and canopy properties (Bruijnzeel, 2004), in the studied agroforestry system, groundcover plants (mostly herbaceous) represented a barrier that limited the impact of raindrops onto the soil, which resulted in a diminution of particle detachment and transport. Indeed, runoff water in the studied agroforestry system carried a lower amount of particles compared to what was observed in the short-cycle crop field, highlighting the lack of soil protection in traditional cropping systems (McDonald et al., 2002; Ribeiro Filho et al., 2013).

The predominant importance of surface properties and groundcover conditions compared to the percentage of tree cover *per se* has also been previously highlighted (Valentin et al., 2008). In the current project, the partial maintenance in the agroforestry plantation contributed in a way to soil preservation against erosion. Therefore, it can be concluded that the – initially undesired – groundcover vegetation had an unexpected positive effect in terms of soil erosion reduction, which turned out to represent a *trade-off* balancing the eventual negative effects related to plant competition for soil nutrients that could result from the marked presence of weeds within the consortium (Went, 1973; Wright, 2002). Indeed, in a system in transition such as the studied agroforestry plantation, groundcover vegetation plays a crucial role for soil protection since it acts as a buffer that reduces the impacts of rainfall variations until the development of a structure approaching that of a natural forest. Furthermore, the presence of developing roots, foliage and branches of young planted trees may also have contributed to reducing raindrop velocity and impact. The reduced soil erosion observed in the studied agroforestry systems thus confirms that sites in regeneration can rapidly reach pre-disturbance erosion limitation capacity (Bruijnzeel, 2004).

4.3. Secondary importance of pluviometry

Pluviometry is frequently considered to be one of the main factors triggering soil erosion (Wei and Fū, 2009; Svoray and Ben-Said, 2010). Among other rainfall parameters, peak rain intensity is generally cited as having a major impact on soil erosion processes (Chaplot and Le Bissonnais, 2000; Wei and Fū, 2009; Svoray and Ben-Said, 2010). However, in the current study, the influence of pluviometry on erosion indicators was moderate (except for surface runoff volume) when all sites were considered together.

Distinct soil erosion patterns nonetheless emerged when studied sites were considered independently, which indicates that the impacts of rainfall volume and intensity varied depending on land use. This is related to the fact that vegetation cover regulates soil and nutrient losses through its effect on water infiltration into the soil, which in turn affects runoff volume and velocity (Bruijnzeel, 2004). In the current study, the lesser influence of pluviometry in the agroforestry and forest sites when compared to the short-cycle cropfield was mainly related to the fact that soil in the latter site was distinctly more exposed, and characterized by a reduced capacity for water infiltration. This has important on-site implication considering that soil erosion is generally triggered by only a few major rainfall events (Ledermann et al., 2010) and since increased runoff on unprotected and compacted soils can result in deep gullies (Bruijnzeel, 2004). This study indicates that agroforestry plantations, similarly to natural forests, have a good water-storage capacity and ability to buffer the system for limiting the impacts associated to rainfall volume and intensity variations (McDonald et al., 2002). This research thus reinforces that the effect of pluviometry is modulated according to the presence or absence of a vegetation cover (Valentin and Janeau, 1990; McDonald et al., 2002).

5. Conclusion

This project highlights the undeniable soil Hg retention efficiency of agroforestry systems, an important benefit that had not been studied previously. In addition, it confirms the positive impacts of these systems on soil fertility maintenance through the reduction of soil fine particles and cation losses. This study shows that soil conservation effect exists in the early stages of an agroforestry system in spite of the absence of a closed canopy, which stresses the short term value of adopting such practices.

This study was carried out *in situ* in rudimentary family farms of the Amazon, and thus reflects the soil erosion dynamics that may be found in agricultural settlements of the region. In the humid tropics, the impacts of forest conversion to cultivated lands are enhanced by the vulnerability of most soils to erosion, as well as by the strong pluviometry characterizing the area. Furthermore, environmental changes will undoubtedly lead to increasingly unpredictable meteorological variability in many parts of the world – including the Amazon, which means that more frequent extreme rain events and enhanced wet/dry season intensity may be expected. This reinforces the crucial importance of favouring sound land uses that ensure soil conservation, especially in environments that are more susceptible to erosion. Hence, this study suggests that agroforestry systems are an interesting avenue for limiting soil degradation since they have the ability to buffer the effects of rainfall variability, similarly to what can be observed natural environments. However, although agroforestry systems have undeniable benefits for ecosystem and human health compared to traditional short-cycle cropping systems, the reduction of Hg mobility nonetheless remains intangible for local populations, and does not currently seem to constitute a strong incentive for adopting alternative agricultural practices in rural Amazonian communities. Indeed, the adoption of alternative production systems can represent a real challenge for subsistence farmers, and more initiatives aiming at

supporting them in their steps towards a more sustainable agricultural model that could meet their needs while having lower impact on the environment should be prioritized.

Acknowledgments

This study was part of the *Poor Land Use, Poor Health* (PLUPH) research initiative studying the relationships between land use, environment and human health in the humid tropics (www.pluph.uqam.ca). The authors sincerely thank the Amazon communities of São Tomé and Araipá who made this project possible. Special thanks to all the PLUPH members, to the field assistants and research boat staff, as well as to Claire Vasseur, Sophie Chen, Agnieszka Adamowicz and to the lab assistants for their help with laboratory analyses. The authors gratefully acknowledge the financial support of the Global Health Research Initiative (GHRI), the Canadian International Development Research Centre (IDRC), Health Canada, the Canadian International Development Agency (CIDA) and NSERC. Many thanks to the University of Québec in Montréal (UQAM)'s Institute of Environmental Sciences, the Montréal Biodôme and the GEOTOP-UQAM.

References

- Alfaia, S.S., Ribeiro, G.A., Nobre, A.D., Luizão, R., C. and Luizão, F.J., (2004). Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazônia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 102 (3): 409-414.
- Alfsen, H., De Franco, M.A., Glomsr, S., and Johnsen, T. (1996) The cost of soil erosion in Nicaragua. *Ecological Economics*, 16: 129-145.
- Almeida, M.D., Lacerda, L.D., Bastos, W.R. and Herrmann, J.C. (2005). Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondônia, Western Amazon, Brazil. *Environmental Pollution*, 137: 179-186.
- Altieri, M.A. and Nicholls, C.I. (2012). Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency. In *Sustainable Agriculture Reviews*, Lichtfouse, E. (Ed), 11: 1-29, Springer.
- Béliveau, A., Lucotte, M., Davidson, R. and Paquet, S. (2009). Early Hg mobility in cultivated tropical soils one year after slash-and-burn of the primary forest, in the Brazilian Amazon. *Science of the Total Environment*, 407: 4480-4489.
- Béliveau, A., Davidson, R., Lucotte, M., do Canto Lopes, Otavio, Paquet, S. and Vasseur, C. (2015). Early effects of slash-and-burn cultivation on soil physicochemical properties of small-scale farms in the Tapajós region, Brazilian Amazon. *Journal of Agricultural Science*, 153: 205-221.
- Benhin, J.K.A. (2006). Agriculture and Deforestation in the Tropics: A Critical Theoretical and Empirical Review. *Ambio*, 35 (1): 9-16.
- Brady, N.C. and Weil, R.R. (2002). *The Nature and Properties of Soils*, 13th edition. Upper Saddle River, USA: Pearson Education, Inc.
- Bruijnzeel, L.A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104: 185-228.
- Chaplot, V. and Le Bissonnais, Y. (2000). Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25: 145-153.
- Christanty, L. (1986). Shifting Cultivation and Tropical Soils: Patterns, Problems and Possible Improvements. In *Traditional Agriculture in Southeast Asia: A Human Ecology Perspective*, Sous la direction de G.G. Marten, Boulder, USA: Westview Press. p. 226-240.

- Cochrane, T.T. and Sánchez, P.A. (1982). Land resources, soils and their management in the Amazon region: a state of knowledge report. In *Agriculture and Land Use Research*, Proceedings of the International Conference on Amazonian Agriculture and Land Use Research. Amazonia. CIAT series 03E-3(82), S. Hecht (Ed.), Cali, Colombia. p. 137-209.
- de Espindola, G.M, Aguiar, A.P.D., Pebesma, E., Câmara, G. and Fonseca, L. (2012). Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. *Applied Geography*, 32: 240-252.
- de Mello, N.A. and Théry, H. (2003). L'État brésilien et l'environnement en Amazonie : évolutions, contradictions et conflits. *L'Espace Géographique*, 1: 3-20.
- Embrapa Amazônia Oriental. (2007). Solos. Área de influencia da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém). Documento no 332. In *Zoneamento ecológico-econômico da área de influencia da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém)*. Available at: <http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php>
- Enters, T. (1998). Methods for the economic assessment of the on- and off-site impacts of soil erosion. International Board for Soil Research and Management. *Issues in Sustainable Land Management*, no 2, Bangkok: IBSRAM.
- Farella, N, Lucotte, M, Louchouart, P. and Roulet, M. (2001). Deforestation modifying terrestrial organic transport in the rio Tapajós, Brazilian Amazon. *Organic Geochemistry*, 32: 1443-1458.
- Farella, N., Davidson, R., Lucotte, M. and Daigle, S. (2006). Mercury release from deforested soils triggered by cation enrichment. *Science of the Total Environment*, 368: 19-29.
- Farella, N., Davidson, R., Lucotte, M. and Daigle, S. (2007). Nutrient and mercury variations in soils from family farms of the Tapajós region (Brazilian Amazon): Recommendations for better farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 120: 449-462.
- Fillion, M., Mergler, D., Passos, C.J.S., Larribe, F., Lemire, M. and Guimarães, J.R.D. (2006). A preliminary study of mercury exposure and blood pressure in the Brazilian Amazon, *Env Health*, 5: 29.

- Fitzjarrald, D.R., Sakai, R.K., Moraes, O.L.L., Cosme de Oliveira, R., Acevedo, R.O., Czikowsky, M.J. and Beldini, T. (2008). Spatial and temporal rainfall variability near the Amazon-Tapajós confluence. *Journal of Geophysical Research*, 113: 1-17.
- Hendershot, W.H., Lalonde, H and Duquette, M. (1993). Ion exchange and exchangeable cations. In *Soil sampling and methods of analysis*, Carter, M.R. (Ed.), USA: Lewis Publishers, p.167-176.
- Holmes, K. W., Kyriakidis, P.C., Chadwick, O.A. Soares, J.V. and Roberts. D.A. (2005). Multi-scale variability in tropical soil nutrients following land-cover change. *Biogeochemistry*, 74(2): 173-203.
- Hölsher, D., Ludwig, B., Moller, R. F. and Folster, H. (1997). Dynamic of soil chemical parameters in shifting agriculture in the Eastern Amazon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 66: 153-163.
- INMET – Instituto nacional de meteorologia. (2015). <http://www.inmet.gov.br/portal/>
- Islam, K.R. and Weil, R.R. (2000). Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 79: 9-16.
- Jordan, C.F. (1985). Soils of the Amazon rainforest. In *Key Environments. Amazonia*, G.T. Prance and T.E. Lovejoy (Eds.), Oxford: Pergamon Press. p. 83-94.
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land degradation & development*, 12: 519-539.
- Ledermann, T., K. Herweg, H.P. Liniger, F. Schneider, H. Hurni and V. Prasuhn. (2010). Applying erosion damage mapping to asses and quantify off-site effects on soil erosion in Switzerland. *Land degradation & development*, 21: 353-366.
- Lloyd, C.R. (1990). The temporal distribution of Amazonian rainfall and its implications for forest interception. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 116: 1487-1494.
- Long, A.J. and Nair, P.K.R. (1999). Trees outside forests: agro-, community, and urban forestry. *New Forests*, 17: 145-174.
- Lü, Y., Fu, B., Chen, L., Liu, G. and Wei, W. (2007). Nutrient transport associated with water erosion: progress and prospect. *Progress in Physical Geography*, 31, p. 607.

- Mainville, N., Webb, J., Lucotte, M., Davidson, R., Betancourt, O., Cueva, E. and Mergler, D. (2006). Decrease of soil fertility and release of mercury following deforestation in the Andean Amazon, Napo River valley, Ecuador. *The Science of the Total Environment*, 368: 88-98.
- Margulis, S. (2004). *Causes of Deforestation of the Brazilian Amazon*. World Bank Working Paper no 22, Washington, DC, 77 p.
- Markewitz, D., Davidson, E.A., Figueiredo, R. de O., Victori R.L. and Krusche. A.V. (2001). Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. *Nature*, 410: 802-805.
- Markewitz, D., Davidson, E.A., Moutinho, P. and Nepstad, D. (2004). Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. *Ecological Applications*, 14 (4), Supplement: 177-199.
- Maurice-Bourgoin, L., Ouirga, I., Chincheros J. and Courau P. (2000). Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. *Science of the Total Environment*, 260 (1-3): 73-86.
- Maurice-Bourgoin, L., Alanoca, L. Fraizy P. and Vauchel. P. (2003). Sources of mercury in surface waters of the upper Madeira erosive basins, Bolivia. *Journal De Physique. IV*, 107 (3): 855-858.
- McGrath, D.A., Smith, K.C., Gholz, H.L. and Oliveira, F. de Assis (2001). Effects of Land-Use Change on Soil Nutrient Dynamics in Amazônia. *Ecosystems*, 4: 625-646.
- McDonald., M.A., Healey, J.R. and Stevens, P.A. (2002). The effects of secondary forest clearance and subsequent land-use on erosion losses and soil properties in the Blue Mountains of Jamaica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 92: 1-19.
- MEQ – Ministère de l'Environnement du Québec. (2003). *Méthode d'analyse. Détermination de la granulométrie dans les sols agricoles et les sédiments : méthode Bouyoucos*. Édition 2003-12-11. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Québec, 16 p.

- Nepstad, D., Capobianco, J. P., Barros, A. C., Carvalho, G., Moutinho, P., Lopes U. and Lefebvre, P. (2000). *Avança Brasil: Os custos ambientais para a Amazônia*, IPAM and Instituto Socioambiental. Relatório do Projeto Cenários Futuros para a Amazônia. Belém, Brasil, Gráfica e Editora Alves, 24 p.
- Nye, P.H. and Greenland, D.J. (1964). Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant and Soil*, 21 (1): 101-112.
- Oestreicher, J.S. (2011). Map of the study region.
- Oestreicher, J.S. and Farella, N., Paquet, S., Davidson, R., Lucotte, M., Mertens, F., and Saint-Charles, J. (2014). Livelihood activities and land-use at a riparian frontier of the Brazilian Amazon: quantitative characterization and qualitative insights into the influence of knowledge, values, and beliefs. *Human Ecology*, 42 (4): 521-540.
- Patry, C., Davidson, R., Lucotte, M. and Béliveau, A. (2013). Impact of forested fallows on fertility and mercury content in soils of the Tapajós River region, Brazilian Amazon. *Science of the Total Environment*, 458-460: 228-237.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. and McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, 4: 439-473.
- Pichet, P., Morrison, K. Rheault I. and Tremblay, A. (1999). Analysis of total mercury and methylmercury in environmental samples. In *Mercury in the biogeochemical cycle*, M. Lucotte, C. Langlois and A. Tremblay (Eds.), Berlin: Springer, p. 41-52.
- PLUPH. (2016). *Poor Land Use, Poor Health* project website. www.pluph.uqam.ca.
- Podwojewski, P, Janeau J.-L. and Leroux, Y. (2008). Effects of agricultural practices on the hydrodynamics of a deep tilled hardened volcanic ash – soil (Cangahua) in Ecuador. *Catena*, 72: 179-190.
- Ribeiro Filho, A.A., Adams, C., Sergio, R. and Murrieta, S. (2013). The impacts of shifting cultivation on tropical forest soil: a review. *Bol. Mus. Pará. Emílio Goeldi. Cienc. Hum.*, Belém, 8 (3): 693-727.
- Roulet, M. and Lucotte, M. (1995). Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferrallitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. *Water, Air, and Soil Pollution*, 80 (1-4): 1079-1088.

- Roulet, M., Lucotte, M., Saint-Aubin, M., Tran, S., Rheault, I., Farella, N., de Jesus da Silva, E., Dezencourt, J., Sousa Passos, C.J., Santos Soares, G., Guimaraes, J.R., Mergler, D. and Amorim, M. (1998). The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará state, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 223: 1-24.
- Roulet, M., Lucotte, M., Farella, N., Serique, G., Coelho, H., Passos, C.J.S., da Silva, E de Jesus, Andrade, P.C., Mergler, D., Guimaraes, J.R.D. and Amorim, M. (1999). Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 112: 297-313.
- Roulet M., Lucotte, M., Canuel, R., Farella, N., Courcelles, M., Guimarães, J.R.D., Mergler, D. and Amorim, D. (2000). Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in the central Amazon. *Chem Geol*, 165: 243-66.
- Rozon, C., Lucotte, M., Davidson, R., Oestreicher, J.S., Paquet, S., Mertens, F., Passos, C.S., and Romana, C. (2015). Spatial and temporal evolution of land use in the Tapajós region of the Brazilian Amazon. *Acta Amazonica*, 45 (2): 203-214.
- Sampaio da Silva, D., Lucotte, M., Roulet, M., Poirier, H., Mergler D. and Crossa. M. (2006). Mercúrio nos peixes do Rio Tapajós, Amazônia brasileira, *InterfacEHS*, 1 (1): 31 p.
- Saragoni, H., Poss R. and Oliver. R. (1990). Dynamique et lixiviation des éléments minéraux dans les terres de barre du sud du Togo. *L'agronomie tropicale*, 45 (4): 259-273.
- SAS Institute. (2003). JMP – versions 7.0.1 and 10. Computer statistical software. Cary, NC, USA.
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd Edition*. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington D.C. 871 p.
- Sommer, R., Vlek, P.L.G., Sa, T.D. de A., Vielhauer, K., De Fatima Rodrigues Coelho, R and Folster, H. (2004). Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon – evidence for subsoil nutrient accumulation. *Nutrient Cycling*, 68: 257-271.
- Sternberg, H.O. (1987). Aggravation of Floods in the Amazon River as a Consequence of Deforestation? *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 69 (1): 201-219.

Svoray, T. and Ben-Said, S. (2010) Soil loss, water ponding and sediment deposition variations as a consequence of rainfall intensity and land use: a multi-criteria analysis. *Earth Surf. Process. Landforms*, 35: 202-216.

Synergy Software Reading. Kaleidagraph 4.1.2. PA, USA.

Tremblay, S., Lucotte, M., Reveret, J.-P., Davidson, R. Mertens, F., Passos, C.J. and Romana, C.A. (2015). Agroforestry systems as a profitable alternative to slash and burn practices in small-scale agriculture of the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, 89 (2): 193-204.

United States Department of Agriculture (Natural Resources Conservation Service). (2015). Soil texture calculator. Available at : http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167

Valentin, C. and Janeau, J.L. (1990). Les risques de dégradation structurale de la surface des sols en savane humide (Côte d'Ivoire). *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, 25: 41-52.

Valentin, C., Agus, F., Alamban, R., Boosaner, A., Bricquet, J.P., Chaplot, V., de Guzman, T., de Rouw, A., Janeau, J.L., Orange, D., Phachomphonh, K., Duy Phai, Do., Podwojewski, P., Ribolzi, O., Silveira, N., Subagyono, K., Thiébaux, J.P., Toha, T.D. and Vadari, T. (2008). Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impacts of rapid land use changes and conservation practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 128: 225-238.

Wei, L.C. and Fu, B. (2009). Effects of rainfall change on water erosion processes in terrestrial ecosystems: a review. *Progress in Physical Geography*, 33: 307.

Went, F.W. (1973). Competition Among Plants. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 70 (2): 585-590.

Willis, G.H. and McDowell. L.L. (2009). Review: Pesticides in Agricultural Runoff and Their Effects on Downstream Water Quality. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1 (4): 267-279.

Wright, S.J. (2002). Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia*, 130: 1-14.

CHAPITRE IV

PERCEPTIONS, SAVOIRS ET PÉRENNITÉ D'UN PROJET D'AGROÉCOLOGIE PRENANT PLACE DANS DES COMMUNAUTÉS RURALES DE L'AMAZONIE

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Fatorelli, L.; Oestreicher, O.; Tremblay, S.;
Mertens, F.; Saint-Charles, J.; Passos, C.J. et Romana, C.A.

Perceptions, savoirs et pérennité d'un projet d'agroécologie prenant place dans des communautés rurales de l'Amazonie

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Fatorelli, L.; Oestreicher, O.; Tremblay, S.; Mertens, F.; Saint-Charles, J.; Passos, C.J. et Romana, C.A.

Résumé

Dans les régions rurales de l'Amazonie, divers projets et incitatifs prônent l'agroécologie comme une voie intéressante pouvant diminuer la dépendance au brûlis, tout en réduisant les impacts de la petite agriculture sur l'environnement. Or, l'adoption de pratiques d'agroécologie par les populations locales demeure toutefois limitée. Cette recherche s'intéresse aux processus entourant l'appropriation d'initiatives faisant la promotion de ce type de pratiques. Prenant le cas d'une recherche-action dans laquelle des systèmes agroforestiers ont été implantés dans des fermes familiales du Tapajós (État du Pará, Brésil), la présente étude vise à déterminer comment les perceptions et les savoirs sont liés à la pérennité de telles interventions. Des entrevues semi-dirigées, des rapports de terrain et des observations directes ont fait ressortir que, pour la plupart des participants, les bénéfices de l'agroforesterie sont d'abord de nature alimentaire et économique, contrastant avec l'esprit du projet étudié, qui met de l'avant de thème de la santé environnementale comme levier pour promouvoir l'adoption de pratiques d'agroécologie. Les perceptions quant aux retombées de l'intervention sont variables entre les participants. L'apprentissage de nouvelles techniques (ex : préparation des semis, fertilisation du sol, organisation des plantations, etc.), la familiarisation avec des nouveaux produits de même que la rencontre avec l'équipe de chercheurs sont les principaux points positifs perçus par les participants. Cependant, l'engagement des agriculteurs dans le projet a été influencé, entre autres, par les contraintes économiques, les priorités de santé et d'éducation, et le peu de perspective de vente des produits issus des plantations. De plus, une certaine méfiance liée à une mécompréhension des objectifs du projet, de même que des défis logistiques et de communication, ont eu des impacts sur la mobilisation des participants. Cette étude a montré que l'intégration des perceptions locales, le partage des pouvoirs entre les différents acteurs ainsi que l'imbrication de savoirs scientifiques et locaux complémentaires dans les projets réalisés en contexte d'agriculture familiale sont essentiels pour assurer une meilleure appropriation de ce type d'initiative par les participants, favorisant ainsi leur pérennité.

Mots-clés :

Agroforesterie, agriculture familiale, pratiques agricoles, recherche-action, rencontre des savoirs, partage des pouvoirs, perceptions, Amazonie.

Percepções, saberes e perenidade de um projeto de agroecologia realizado em comunidades rurais da Amazônia

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Fatorelli, L.; Oestreicher, O.; Tremblay, S.; Mertens, F.; Saint-Charles, J.; Passos, C.J. e Romana, C.A.

Resumo

Nas áreas rurais da Amazônia, vários projetos e incentivos promovem a agroecologia para reduzir a dependência das populações locais na agricultura de corte e queima, e os impactos negativos da pequena agricultura ao meio ambiente. No entanto, a adoção de práticas agroflorestais nas comunidades rurais ainda é limitada. Este projeto investiga os processos ao redor da apropriação de iniciativas promovendo este tipo de práticas. Estudando o caso de uma pesquisa-ação na qual sistemas agroflorestais foram implementados em lotes da agricultura familiar da região do Tapajós (Estado do Pará, Brasil), este estudo aborda como as percepções e os saberes estão relacionados a perenidade de tais intervenções. Entrevistas semi-dirigidas, relatórios de campo e observações diretas mostraram que, para a maioria dos entrevistados, os benefícios dos sistemas agroflorestais são sobretudo alimentares e econômicos, em contraste com o espírito do projeto estudado, que utiliza as vantagens na saúde ambiental para promover a adoção de práticas de agroecologia. As percepções sobre os impactos da intervenção variam entre os participantes. A aprendizagem de novas técnicas (por exemplo, a preparação das mudas, a fertilização do solo, a organização dos plantios, etc.), e também o fato de se familiarizar com novos produtos (por exemplo o araçá-boi) e de conviver com uma equipe de pesquisa foram os principais pontos positivos percebidos pelos participantes. No entanto, o compromisso dos agricultores no processo da intervenção foi influenciado pelas dificuldades econômicas, as prioridades de saúde e de educação, e as poucas perspectivas de venda dos produtos dos plantios. Além disso, uma certa desconfiança e a má compreensão dos objetivos do projeto, tanto como os desafios logísticos e de comunicação, tiveram um impacto sobre a mobilização dos participantes. Este estudo mostra que a integração das percepções locais, a divisão dos poderes entre os atores e a imbricação dos saberes locais e científicos complementares nos projetos realizados num contexto de agricultura familiar são essenciais para a apropriação das iniciativas pelas populações locais, assim favorecendo a perenidade das intervenções.

Palavras chaves:

Agroflorestaria, agricultura familiar, práticas agrícolas, pesquisa ação, encontro dos saberes, divisão dos poderes, percepções, Amazônia

Perceptions, knowledge and sustainability of an agroecological action research project taking place in rural communities of the Amazon

Béliveau, A.; Davidson, R.; Lucotte, M.; Fatorelli, L.; Oestreicher, O.; Tremblay, S.; Mertens, F.; Saint-Charles, J.; Passos, C.J. and Romana, C.A.

Abstract

In rural areas of the Amazon, various projects and incentives promote agroecology as an interesting avenue that could contribute to reducing the dependence of local populations on slash-and-burn, therefore limiting the impacts of small-scale farming on the environment. However, the adoption of agroecological practices by subsistence communities remains limited. This project explores the processes surrounding the appropriation of agroecological interventions by local populations. Focusing on the case of an action research initiative in which agroforestry systems were implemented in family farms of Tapajós region (Pará State, Brazil), the current study aims at understanding how perceptions and knowledge are related to the continuity of such interventions. Semi-structured interviews, field reports and direct observations have shown that for most respondents, the benefits of agroforestry are primarily alimentary and economic, contrasting with the studied project orientations, which uses environmental health as a leverage to promote the adoption of agroecological practices. Perceptions about the intervention outcomes varied between participants. The learning of new techniques (for example: seedling preparation, soil fertilization, plantation organization, etc.), the familiarisation with new products (for example, araza) as well as the encounter with the research team were the main positive points perceived by the participants. However, economic constraints, health and education priorities and low sale perspectives for plantation products influenced the farmer's involvement along the process. Moreover, some mistrust and misunderstanding of the project's objectives, as well as logistical and communication problems, had repercussions on the mobilization of participants. This study showed that the integration of local perceptions, the division of powers between actors as well as the imbrication of complementary local and scientific knowledge in projects carried out in a context of family farming are essential for a better appropriation of the initiatives by local communities, and therefore contribute to their sustainability.

Key-words:

Agroforestry, family farming, agricultural practices, action research, knowledge exchange, division of powers, perceptions, Amazon.

1. Introduction

En Amazonie brésilienne, l'augmentation de la présence humaine et l'intensification de l'agriculture de cycle court sur brûlis a d'importantes répercussions socioéconomiques et environnementales (Christanty, 1986 ; Sirén, 2007). En plus de causer la perte de surfaces forestières (Pasquis et de Oliveira, 2007), l'usage du brûlis pour des fins agricoles contribue à la dégradation des cours d'eau et des sols (Chapitre 3; Roulet et coll., 1999 ; 2000 ; McGrath et coll., 2001), tout en laissant les familles d'agriculteurs dans une situation de précarité alimentaire et économique (Rodrigues et coll., 2009). Dans ce contexte, l'agroécologie est de plus en plus valorisée comme étant une alternative intéressante pouvant potentiellement réduire la dépendance des populations locales au brûlis (Altieri et Toledo, 2011).

Différentes approches d'agriculture inspirées des principes de l'agroécologie ont eu des résultats probants, entre autres concernant l'amélioration de la sécurité alimentaire, l'augmentation des revenus et la diversification des cultures, l'autonomisation (*empowerment*) des populations, en plus de contribuer au maintien de l'intégrité écologique et des sols (Alfaia et coll., 2004 ; Semedo et Barbosa, 2007 ; Long et Nair, 1999). Or, en raison de divers facteurs techniques et socioéconomiques, l'adoption de pratiques d'agroécologie dans les régions rurales est toujours limitée (Altieri et Nicholls, 2012 ; Fujisaka, 1989 ; Long et Nair, 1999). En effet, les coûts d'implantation de systèmes agroécologiques (Tremblay et coll., 2015), le peu de familiarisation avec ce modèle d'agriculture, les contraintes environnementales, de même que le manque de soutien technique peuvent constituer un frein à l'adoption de ce type de pratiques (Chapitre 2). Ceci sans compter que le contexte historique et culturel, la précarité foncière, ainsi que l'accès limité au marché peuvent aussi influencer les choix des agriculteurs quant à l'usage de leur terre (Mercer, 2004 ; Raintree, 1983 ; Franzel et coll., 1995 ; Fisher et Vasseur, 2000).

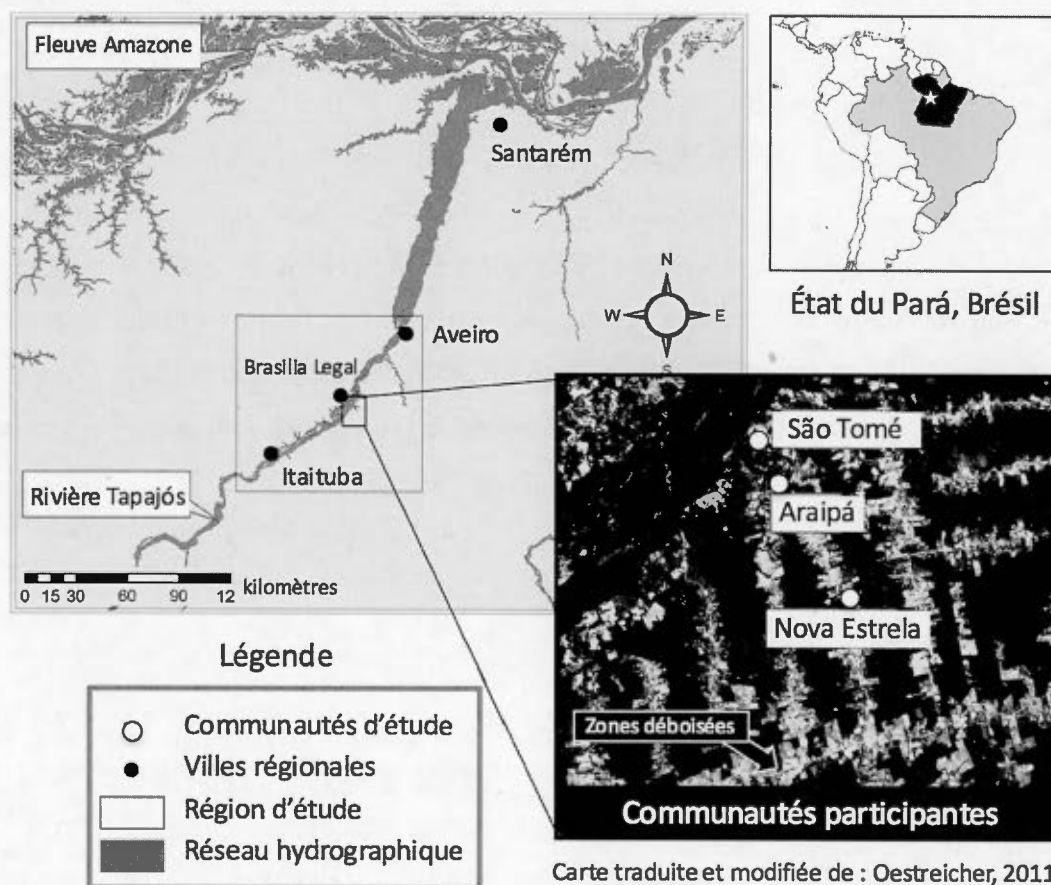
L'implantation de projets d'agroécologie dans le cadre d'initiatives de recherche-action effectuées dans des contextes de subsistance peuvent engendrer des défis supplémentaires en raison des différentes réalités et contraintes vécues par les chercheurs et les communautés participantes (Scherr, 1991). En effet, les enjeux quotidiens auxquels les agriculteurs doivent faire face (précarité économique, faible fertilité du sol, pertes des cultures, ravageurs, main d'œuvre limitée, etc.) amènent des priorités qui sont souvent distinctes de celles de la recherche (Hecht, 1995). De plus, la nature des projets mis en place (Reed, 2007) ainsi que leurs méthodes d'implantation et de communication peuvent également influencer leur adoption au sein des communautés participantes (Franzel et coll., 1995 ; Glendinning et coll., 2001 ; Rocheleau, 1991 ; Fisher et Vasseur, 2002). S'intéressant aux processus entourant l'appropriation d'initiatives d'agroécologie, la présente étude s'est penchée sur le cas du projet *Poor Land Use, Poor Health*, portant sur les relations entre usages de la terre, environnement et santé humaine (PLUPH, 2016), au sein duquel des systèmes agroécologiques ont été implantés dans des exploitations agricoles familiales de la région du Tapajós, en Amazonie brésilienne. Même si les systèmes mis en place dans le cadre du projet étudié ont eu des résultats positifs sur le plan environnemental (Chapitres 2 et 3) tout en étant théoriquement rentables à moyen terme (Tremblay et coll., 2015), leur adoption par les participants s'est avérée partielle. La présente étude vise à mieux comprendre de quelle manière les perceptions, les savoirs et les les questions de pouvoir peuvent être liées à l'appropriation de ce type d'initiative par les populations participantes, et par conséquent à leur pérennité.

2. Méthodes

2.1. Région d'étude

Cette étude a été réalisée dans la région du Tapajós (dans l'ouest de l'État du Pará, en Amazonie brésilienne), un front pionnier où de grandes transformations surviennent depuis l'intensification de la présence humaine sur le territoire (Fearnside, 2002). Les collectes de données ont eu lieu dans les villages de São Tomé ($03^{\circ}99'S - 55^{\circ}57'O$), Araipá ($04^{\circ}03'S - 55^{\circ}54'O$) et Nova Estrela ($04^{\circ}07'S - 55^{\circ}51'O$), situés près de Brasília Legal, dans les municipalités d'Aveiro et de Rurópolis (Fig. 1).

Fig. 1. La région d'étude : le moyen Tapajós



La région d'étude est caractérisée par une prédominance de sols pauvres et altérés (Roulet et Lucotte, 1995 ; Roulet et coll., 1998 ; Béliveau et coll., 2015), principalement des oxisols et des ultisols (Soil Survey Staff, 1999), nommés latossolos et argissolos selon la classification brésilienne (Embrapa Amazônia Oriental, 2007). La pratique du brûlis y est très commune et appréciée par les populations locales, car elle constitue un moyen efficace pour défricher et assurer un enrichissement rapide du sol par un apport massif de cendres végétales riches en cations. L'usage du brûlis est toutefois associé à l'épuisement rapide des terres (Farella et coll., 2007 ; Béliveau et coll., 2015), à une incidence élevée de l'érosion (ainsi qu'à la mobilité du mercure naturel des sols (Chapitre 3 ; Béliveau et coll., 2009 ; Farella et coll., 2016), causant la dégradation des cours d'eau environnants (Roulet et coll., 1999 ; 2000). Différents cycles d'exploitation des ressources, de même que l'établissement de cultures de cycle court sur brûlis et de pâturages, combinés avec les activités forestières, ont résulté en une fragmentation du paysage et une perte marquée des surfaces forestières depuis les dernières décennies (Oestreicher et coll., 2014 ; Rozon et coll., 2015). De plus, l'intensification des dynamiques de déforestation et de transformation du territoire est à prévoir en raison, entre autres, de l'augmentation de la production de soya à proximité en lien avec l'asphaltage de la route BR-163 Santarém-Cuiabá (Margulis, 2004 ; Nepstad et coll., 2000 ; Coelho et coll., 2013), ainsi qu'avec le développement de projets hydroélectriques envisagé dans la région.

2.2. Communautés participantes

Les communautés de São Tomé, Araipá et Nova Estrela sont au cœur de la présente étude puisqu'elles ont été toutes les trois parties prenantes d'un projet de recherche-action impliquant l'implantation de systèmes agroécologiques dans des fermes familiales locales. Un recensement mené en 2010 par l'équipe de recherche avec

l'ensemble des ménages, ainsi que des groupes de discussion menés dans chacune des trois communautés, ont permis aux chercheurs de faire ressortir leurs spécificités et de mieux comprendre leur trajectoire historique respective (Fig. 2).

Fig. 2. Caractéristiques générales des communautés participantes

	São Tomé	Araipá	Nova Estrela
Origine de la pop.	Pará	Pará/Nordeste	Nordeste
Durée d'existence	+/- 75 ans	+/- 60 ans	Récente (< 30 ans)
Localisation	Riveraine	Bout d'un lac	Intérieur des terres
Mode de vie	Agr./pêche/cueillete	Agr./élevage/pêche	Élevage/agriculture
Déboisement	Moins élevé	Intermédiaire	Élevé

Ces villages présentent des profils démographiques, socioéconomiques et environnementaux distincts : São Tomé, situé près de la rivière Tapajós, est né lors de l'arrivée de familles (originaires principalement de l'État du Pará), attirées dans la région pendant le boom du caoutchouc des années 1930. La plupart des 26 familles dénombrées lors du recensement a un mode de vie basé sur un usage de ressources provenant de la terre, de la rivière et de la forêt. La communauté d'Araipá, plus éloignée de la rivière et située au bout d'un lac du même nom, a été fondée dans les années 1950. Les 37 ménages du recensement sont d'origine mixte ; certains proviennent du Pará alors que d'autres se sont établis dans la région suite aux politiques gouvernementales de colonisation agraire et d'occupation du territoire amazonien (De Mello et Théry 2003 ; Fearnside, 2008). Les habitants d'Araipá pratiquent principalement l'agriculture de subsistance et l'élevage, et les activités de pêche et d'extraction de produits de la forêt ne sont pas aussi présentes que dans la première communauté. Enfin, le village de Nova Estrela est situé à 8 km de la bordure du lac Araipá, sur un chemin de terre menant au Km 70 de la route Transamazonienne (où se trouve la petite ville de Divinópolis). La population (27

ménages lors du recensement) est constituée de migrants majoritairement originaires du Nordeste brésilien. Éloignés de la rivière et de plans d'eau, les habitants ont peu accès aux ressources aquatiques. L'agriculture et l'élevage y sont plus extensifs que dans les deux autres communautés, et le taux de déboisement y est par conséquent plus élevé (Oestreicher, 2014).

Les villages d'étude ont peu d'infrastructures et leurs habitants exploitent la terre avec des moyens rudimentaires. Les principales cultures sont le manioc (*Manihot esculenta*), le maïs (*Zea mays* L), le riz (*Oryza sativa* L), et plusieurs des ménages ont aussi de la banane (*Musa* sp.) et du bétail. Plusieurs familles entretiennent également des jardins potagers et des arbres fruitiers près de leur maison. La taille moyenne des lots y est de moins de 100 ha (Oestreicher et coll., 2014). La plupart de ces familles demeurent toutefois dans une situation d'insécurité foncière, avec très peu d'accès au crédit et aux ressources techniques (Tremblay et coll., 2015). Au cours de l'étude, plusieurs familles (surtout de Nova Estrela, mais également d'Araipá) ont quitté leur communauté afin de s'installer dans les villes environnantes (Divinópolis, Itaituba, Santarém, etc.).

2.3. Présentation du projet d'agroécologie étudié

L'intervention étudiée s'insère dans le projet *Poor Land Use, Poor Health* portant sur les relations entre usage de la terre, environnement et santé humaine, et plus précisément faisant la promotion de pratiques alternatives au brûlis en utilisant comme leviers les problèmes de l'exposition au mercure (Hg) et de prévalence de la maladie de Chagas (PLUPH, 2016).

En 2008, l'implantation de trois types de systèmes agroécologiques basés sur un usage réduit du feu a été proposée aux communautés participantes. Ces systèmes, chacun établi sur une parcelle de 1 ha, représentent un gradient de complexité

structurel et de composition. Le système Bragantin (BR), conçu par l'Organisme gouvernemental de recherche agricole au Brésil (*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Empraba*), est composé de plantes couramment cultivées par les agriculteurs de la région (manioc, riz, fèves et maïs), plantées en alternance dans le temps et selon une structure précise (Galvão et coll., 2008). Le consortium fruitier (CF) est un système composé d'espèces de cycle court et d'arbres fruitiers devant atteindre 4 à 5 m de hauteur. Enfin, le système multi-usages (MU), le plus complexe, est un consortium agroforestier composé d'un mélange de plantes de cycle court, d'espèces fruitières et d'arbres de sylviculture devant atteindre 15 m de hauteur à maturité. Les systèmes multi-usages et fruitiers sont décrits en plus de détails dans le chapitre 1 de la présente thèse.

Le choix des familles participantes, des endroits où ont été implantés les systèmes et des espèces plantées a été réalisé dans l'optique de concilier les objectifs de la recherche et les intérêts des populations locales. Ce choix a été basé sur des considérations scientifiques, les possibilités techniques, de même que sur des études de réseaux sociaux (Valadão, 2009) et des consultations avec les communautés participantes. Les systèmes expérimentaux ont été conçus à la fin de 2008, puis mis en place entre 2009 et 2010. L'implantation et l'entretien des systèmes ont été faits par les chercheurs du projet en collaboration avec les familles sélectionnées, ainsi qu'avec l'aide d'assistants de terrain et d'autres membres des communautés d'étude.

Trois plantations expérimentales devaient initialement être implantées dans chaque communauté participante (c.-à-d. une plantation de chaque type de système par village), pour un total de neuf plantations sur neuf fermes familiales. Or, les trois familles ayant été sélectionnées à Nova Estrela se sont retirées en bloc avant le début de l'implantation des systèmes, et par conséquent, un total de six plantations a finalement été mis en place. Les systèmes multi-usages et fruitiers d'Araipá ont ensuite été abandonnés un an après leur implantation, et les propriétaires des deux

systèmes Bragantin ont subséquemment cessé de s'occuper de leur parcelle plus tard en cours de projet. Cependant, les plantations multi-usages et fruitières de São Tomé étaient toutefois toujours maintenues cinq ans après le début du projet.

2.3. Collectes et analyses des données

La collecte de données s'est déroulée en plusieurs étapes, et comprenait des entrevues individuelles, des groupes de discussion et des observations directes. Trois types d'entrevues ont été réalisés de 2011 à 2015 (Tableau 1). D'abord, un premier questionnaire a été appliqué sur une base volontaire en 2011, avec la population âgée de 15 ans et plus des trois villages participants. Ce questionnaire, qui comportait des questions fermées et ouvertes, abordait entre autres plusieurs aspects économiques et sociodémographiques (ex : éducation, religion, origine, genre, revenus, biens matériels, taille des propriétés, etc.), permettant de dresser un portrait général des villages participants. Il s'intéressait également aux modes d'usages des ressources, aux connaissances et aux expérimentations agricoles, de même qu'aux perceptions sur l'environnement, sur l'agriculture ainsi que sur le projet d'intervention.

Tableau 1. Entrevues réalisées dans les communautés participantes

	Population (n)		Entrevues réalisées (n)*		
	Tot.	> 15 ans	2011	2012	2013 / 2015
São Tomé	106	80	51 (76 %)	7 (4 H et 3 F)	4
Araipá	132	67	51 (64 %)	9 (6 H et 3 F)	---
Nova Estrela	90	58	42 (72 %)	7 (4 H et 3 F)	---
Total d'entrevues réalisées	328	205	144 (70 %)	23	4

*Toutes les entrevues ont été effectuées sur une base volontaire avec la population de 15 ans et plus. Les chiffres entre parenthèses dans la colonne 2011 représentent le % de la pop. totale de chaque village interviewé cette année-là. H = Hommes et F = femmes.

Puisque la présente étude s'intéresse plus particulièrement aux perceptions des participants sur les pratiques agricoles ainsi qu'à leur expérience en lien avec le projet de plantations agroécologiques, une deuxième série d'entrevues semi-dirigées permettant d'explorer ces sujets plus en profondeur a été réalisée en 2012, avec 23 villageois ayant participé étroitement à l'intervention. Cinq thèmes principaux ont été abordés lors de ces entretiens :

- 1) L'historique des sites d'implantation des systèmes expérimentaux
- 2) Le développement et la production des systèmes expérimentaux
- 3) Les perceptions sur les pratiques agricoles et d'agroécologie
- 4) Les perceptions sur le projet d'intervention
- 5) La satisfaction quant à la participation au projet

Les chefs de ménage (hommes et femmes) de toutes les familles sélectionnées ont été interviewés, de même que dans certains cas, les fils de plus de 15 ans ayant pris part activement au travail dans les plantations. Une attention particulière a été portée afin de laisser aux femmes un espace pour s'exprimer librement, et dans la mesure du possible, les entretiens ont été effectués sans la présence du mari. De plus, des entrevues ont également été effectuées avec les chercheurs et techniciens ayant été impliqués dans l'élaboration et l'implantation des systèmes (subséquemment appelés « membres du projet »). Au total, sept des personnes interviewées provenaient de la communauté de São Tomé, neuf d'Araipá, sept de Nova Estrela, et sept étaient des membres du projet. Enfin, des entrevues semi-dirigées complémentaires ont été de nouveau menées en 2013 et 2015 avec les chefs de ménage des deux familles continuant à entretenir leur plantation, afin de faire un suivi sur le rendement de leurs systèmes ainsi que sur leur appréciation de l'expérience avec le projet.

Dans tous les cas, les entretiens ont été menés par au moins un aide de terrain lusophone natif de la région du Tapajós, et la plupart du temps en équipe de deux

personnes, afin d'améliorer la standardisation des collectes de données. Les entrevues ont été enregistrées, puis transcrites mot pour mot par un lusophone. Une analyse thématique des verbatims a ensuite été effectuée manuellement avec une approche inductive, permettant d'identifier et de catégoriser les principaux thèmes récurrents issus des entrevues (Blais et Martineau, 2007). Alors que la présente étude ne prétend pas établir des relations de cause à effet quantifiables entre différentes variables, mais souhaite plutôt offrir un regard qualitatif sur les processus entourant l'appropriation de projets d'intervention par les participants, le type d'échantillonnage et d'approche choisis permet de faire ressortir les patrons de pensées et de perceptions existant dans les communautés d'étude (Fallery et Fodhain, 2013).

En plus des trois séries d'entretiens mentionnées ci-haut, des groupes de discussion portant sur l'historique des communautés ont été réalisés dans chacun des villages d'étude. La participation était volontaire et l'ensemble de la population (hommes et femmes) de chaque village a été invité. Inspirées de la méthodologie de la « ligne du temps », ces activités visaient à faire ressortir les éléments-clés ayant marqué les villages à l'étude sur les plans historique, démographique et organisationnel (Guest et coll., 1963), ainsi que de mieux comprendre les modes d'utilisation des ressources prévalant dans chacune de ces communautés. Enfin, de nombreuses observations rédigées par des membres du projet étudié au cours et après les séjours sur le terrain ont également été utilisées dans cette étude.

3. Résultats

3.1. Perceptions des pratiques agricoles et de l'intervention

3.1.1. Bénéfices de l'agroécologie et de l'agriculture de cycle court

Les bénéfices de l'agroforesterie ont été explorés d'une manière générale lors des entrevues, et non spécifiquement en faisant référence aux modèles de plantations

implantées dans le cadre du projet. Toutes les personnes interviewées ont exprimé une opinion positive quant à ce type de pratiques, mais la nature des bénéfices perçus diffère toutefois entre les participants (Tableau 2). Dans l'ensemble, les bénéfices perçus sont de nature économique et alimentaire. Plus particulièrement, le revenu futur provenant de la vente des produits et l'alimentation/la consommation familiale sont les avantages mentionnés les plus fréquemment au cours des entretiens. Un des agriculteurs a également affirmé que les systèmes agroforestiers permettent de « valoriser la terre si elle est vendue ».

Tableau 2 : Bénéfices perçus de l'agroforesterie et de l'agriculture de cycle court

Communauté	Agroforesterie	Agriculture de cycle court
São Tomé (Persistance partielle dans le projet)	Bénéfices futurs Consommation Revenu futur Valorisation de la terre Apprentissages Bien-être/plaisir « Réserve » forestière future Filtration de l'air Ombre, fraîcheur	Revenu immédiat « Tout » Alimentation familiale Alimentation des animaux
Araipá (retrait partiel en cours de projet)	Vente Consommation familiale Santé (fruits) Filtration de l'air Ombre, fraîcheur Remplace la forêt	Bénéfices immédiats Alimentation familiale « Tout » Revenu
Nova Estrela (abandon total au début du projet)	Bénéfices futurs Préservation de l'environnement Restauration des terres Production diversifiée Revenu Apprentissage	Bénéfices immédiats Alimentation familiale Alimentation des animaux Revenu immédiat

* En caractère gras, les bénéfices mentionnés le plus souvent dans chaque communauté.

La plupart des participants de São Tomé et d'Araipá ont mentionné les avantages environnementaux des systèmes agroforestiers en second lieu, moins promptement et d'une manière plus large, et certains d'entre eux n'ont pas fait d'association entre agroécologie et environnement. Par contraste, la majorité des participants de Nova Estrela ont mentionné en premier lieu et avec plus de précisions ce type de bénéfices, plutôt que les retombées économiques. Parmi les avantages environnementaux soulevés par les personnes interviewées, notons la filtration de l'air, la température plus clémente et la présence d'ombre. De plus, outre pour ce qui est des bienfaits de la consommation de fruits et le « bien-être » associés à la présence de plantations agroforestières, la santé n'a pas été mentionnée comme faisant partie des bénéfices de l'agroécologie.

Les bénéfices perçus de l'agroforesterie sont généralement liés au futur, ce qui contraste avec les avantages de l'agriculture sur brûlis, qui sont plutôt à court terme et plus tangibles. Au cours des entretiens, les discussions concernant les cultures traditionnelles de cycle court, telles que le manioc, le riz et le maïs, ont suscité un vif intérêt chez les participants. Ces cultures représentent « tout » pour la presque totalité des participants. À la question « *Qu'est-ce que ces types de cultures amènent à votre famille ?* », une agricultrice a répondu avec un enthousiasme palpable que ceux-ci « *amènent l'alimentation pour la famille, pour les animaux, et un revenu grâce à la vente, qui permet de se procurer ce qui n'est pas produit par la famille. Elles nous amènent tout.* ». Un autre agriculteur a renchéri en affirmant : « *C'est du champ que nous tirons tout ce qui permet à la famille de subsister.* »

3.1.2. Retombées du projet

Les perceptions des retombées et des défis associés au projet sont distinctes entre les différents participants, autant en ce qui concerne les produits provenant des

plantations que des connaissances développées au cours de l'intervention et de la satisfaction générale quant à cette dernière.

a) Produits provenant des plantations

Les chefs de familles bénéficiant des deux types de systèmes agroforestiers de São Tomé se sont dits satisfaits des produits issus des plantations. Ceux-ci ont rapporté que la productivité des espèces a été variable selon le site où ces dernières ont été plantées ; par exemple, l'acérولا, l'açaí et le plantain ont eu une production plus élevée et plus rapide dans le CF que dans le MU. Cependant, les propriétaires des MU ont particulièrement apprécié l'andiroba et la noix du Brésil, de même que l'araza, qui a suscité un fort engouement même si l'espèce était auparavant peu connue. Les agriculteurs ont toutefois déploré la perte d'une partie de leur production en raison du piétinement du bétail et de l'intrusion d'animaux sauvages dans les plantations. De plus, les impacts des insectes prédateurs, de même que les difficultés liées à la repousse accrue de la végétation naturelle ont également été soulevés. Les produits ont pour la plupart été consommés à domicile, ou encore, offerts aux voisins ou à d'autres membres de la communauté. Dans de rares cas, des quantités modérées de fruits ont été vendues (entre autres, d'arazas, de bananes et d'ananas) dans les petites villes environnantes. Quant aux systèmes BR, la production du manioc a été satisfaisante, selon les agriculteurs. Le manioc été consommé à la maison, à l'exception de quelques sacs de farine qui ont été vendus au marché de la petite ville d'Itaituba. La production du maïs a toutefois été affectée par la sécheresse et de la chaleur intense, et la faible quantité produite fut donnée aux animaux. Les haricots ont quant à eux été peu appréciés par les agriculteurs participants, puisque la production s'est avérée basse.

b) Connaissances issues de l'intervention

Les opinions sont partagées par rapport aux connaissances acquises tout au long du projet. Les trois familles participantes de São Tomé ont exprimé avoir développé de nouveaux apprentissages à travers leur participation à l'intervention, tel que notamment la préparation des semis, la transplantation dans les champs, de même que les méthodes de fertilisation avec lesquelles ils étaient peu familiers auparavant. De plus, les propriétaires des BR, systèmes se rapprochant davantage de pratiques communes dans la région, se sont dits intéressés par les méthodes de plantation du manioc préconisées par les techniciens de l'Embrapa. Certains agriculteurs ont d'ailleurs affirmé avoir modifié leur manière de planter le manioc dans leur propre champ suite aux visites techniques ayant eu lieu au sein du projet.

Les participants d'Araipá ont toutefois émis davantage des réserves quant aux apprentissages issus du projet. En effet, même si certains des agriculteurs ont affirmé avoir appris de nouvelles méthodes lors de l'implantation des systèmes, d'autres se sont montrés plus sceptiques relativement aux avantages des pratiques proposées. Quant aux familles de Nova Estrela, malgré leur retrait en bloc avant l'implantation des systèmes, la plupart ont exprimé avoir tout de même gagné en apprentissages lors des premières phases du projet. Un des participants s'étant désisté a également affirmé avoir acquis de nouvelles connaissances grâce à sa collaboration à l'implantation des systèmes chez d'autres agriculteurs dans la communauté voisine.

Cependant, toutes les personnes interviewées (sauf un seul agriculteur) ont montré peu d'intérêt pour l'utilisation de pois doux (*inga*) comme source d'engrais vert. La promotion de l'engrais vert constituait au départ une des principales innovations de l'intervention, mais la méthode a été expérimentée seulement dans les deux systèmes CF et MU de la communauté de São Tomé, générant des résultats peu probants. Un seul des agriculteurs s'est montré enthousiasmé par la technique, affirmant que

l'application de feuilles et de branches de pois doux au pied des plants a amené plus de vigueur aux végétaux. Toutefois, le second ayant tenté l'expérience a au contraire attribué la mort de plusieurs plantes à l'usage de cette méthode, ce qui renforce le fait qu'un accompagnement lors de l'essai de techniques peu familières par les agriculteurs est souhaitable.

c) Satisfaction générale envers le projet

La satisfaction de la participation à l'intervention est très variable. Des participants ont exprimé des déceptions résultant de leurs attentes élevées pour des contributions concrètes du projet, telles que l'apport d'un médecin, la création d'emplois, des améliorations à l'école du village, l'avènement de l'électricité ou encore la construction d'un poste de santé ou d'une route. D'autres participants ont toutefois montré une compréhension de la nature scientifique du projet, de même que des contraintes et possibilités de la recherche. Ces agriculteurs ont montré moins d'attentes envers le projet (*« nous espérions que l'expérimentation fonctionne »*), résultant en une meilleure satisfaction quant à leur participation. Au-delà des produits issus des plantations et des connaissances générées lors de l'expérience, d'autres avantages de la participation au projet ont également été soulevés, tels que les revenus provenant du travail dans les plantations ou simplement la stimulation d'être activement impliqués dans une équipe de recherche et la rencontre avec de nouvelles personnes ont contribué à motiver la participation au projet. De plus, les familles ayant maintenu leur plantation jusqu'à la fin de l'étude ont révélé être fières de leur engagement et de leur accomplissement. Montrant un fort attachement pour sa plantation, un des agriculteurs a ainsi affirmé qu'il *« s'en occuperait aussi longtemps qu'il sera en vie »*. Par ailleurs, ces familles ont également indiqué qu'une part de leur satisfaction résultait des échanges avec l'équipe de recherche. Or, cette satisfaction n'était pas partagée par tous les participants, et en particulier par ceux d'Araipá. Et à Nova Estrela, malgré le désistement des familles avant même le début de

l'implantation des systèmes, la plupart des personnes interviewées se sont montrées neutres par rapport au projet (pas d'insatisfaction marquée). Une des familles a tout de même exprimé s'être sentie privilégiée par sa courte participation au projet en raison des apprentissages acquis.

3.2. Processus d'implantation du projet : défis et opportunités

Un regard sur les différentes étapes du déroulement de la recherche-action étudiée, en commençant par le choix des villages participants jusqu'au maintien des systèmes expérimentaux implantés, amène des éléments éclairants sur les approches privilégiées au sein du projet, de même que sur la manière dont les pouvoirs ont été distribués entre les différents acteurs impliqués tout au long de celui-ci.

3.2.1. Choix des communautés

Le choix des communautés d'étude a d'abord été basé sur des critères géographiques et démographiques visant à répondre aux objectifs de la recherche. Trois villages ayant des profils distincts, entre autre sur les plans environnemental (c.-à-d. communauté riveraines vs de l'intérieur des terres) et sociodémographique (population originaire de la région vs migrante) étaient recherchés. L'inclusion d'une communauté autochtone était initialement souhaitée, mais n'a pu se concrétiser pour des raisons logistiques et bureaucratiques. Après un premier terrain de reconnaissance ainsi qu'une consultation avec les leaders locaux, les trois villages décrits plus tôt ont été sélectionnés puisqu'ils étaient relativement accessibles et qu'ils correspondaient aux besoins de l'étude. De plus, l'une des communautés avait déjà participé à un précédent projet de recherche mené par la même équipe, laissant présumer que l'approche pourrait en être facilitée. Or, même si plusieurs réunions communautaires ont été organisées régulièrement dès les débuts du projet afin d'échanger avec les

participants sur les objectifs de ce dernier ainsi que sur les raisons expliquant le choix des villages participants, une certaine incompréhension a subsisté parmi la population quant aux raisons de la présence de l'équipe dans la région. Selon les dires des personnes interviewées, ces questionnements ont amené une certaine réserve, voire une méfiance, chez une partie des villageois. Ainsi, une participante a relaté les doutes existant dans sa communauté : « *Se pourrait-il qu'ils – les chercheurs – soient en train de nous tromper ?* » Selon différentes personnes interviewées, une rumeur existait dans les villages d'étude insinuant que l'équipe de recherche ait un agenda caché de s'approprier les terres (« *Certaines personnes disent qu'ils deviendront propriétaires de tout* » ou encore « *On nous a dit qu'ils viennent prendre possession des terres et que d'ici à un certain temps, nous n'aurions plus droit à nos terres* »). De plus, des craintes que l'équipe soit envoyée par le gouvernement, ou encore, une appréhension de la perte de l'indépendance du pays (« *Le Brésil va se retrouver dans la poche des États-Unis* ») ont également été rapportées par les participants. La peur d'être dénoncés pour le déboisement de leur terre, ou même, d'être utilisés d'une manière mercantile par l'équipe (qui pourrait, selon une rumeur, vendre le sang des villageois sur le marché international), sont aussi parmi les préoccupations existant dans les communautés d'étude, selon les personnes interviewées. Ces sentiments de méfiance étaient plus accentués à Nova Estrela, ce qui pourrait être lié, tel qu'évoqué par des participants, au passage de compagnies minières canadiennes dans la communauté par le passé, laissant croire aux habitants l'éventualité d'une exploitation étrangère dans la région.

3.2.2. Sélection des participants et des sites

Les familles participant au projet de plantations ont été sélectionnées selon une méthodologie visant à favoriser le partage des connaissances et la diffusion de l'expérimentation au sein de leur communauté. D'abord, dans chaque village, une

étude de réseaux sociaux a été menée dans le but d'identifier des individus perçus par leurs concitoyens comme étant des *leaders* en termes de connaissances sur l'agriculture (Valadão, 2009). L'intérêt et la pertinence des personnes ayant été pré-identifiées par l'étude de réseaux a ensuite été validée lors de réunions communautaires. Des lieux potentiels pour l'implantation des systèmes expérimentaux ont par la suite été suggérés par les agriculteurs, et le choix final des sites a incombé aux chercheurs, puisqu'ils devaient correspondre à certains critères biophysiques spécifiques pour la réalisation de la recherche. Cette approche a toutefois été peu comprise par les participants. En effet, une des personnes interviewées a cru que le choix des participants avait été fait par tirage au sort. De plus, un des agriculteurs choisis a affirmé qu'il ne s'était pas porté volontaire pour participer au projet initialement (« *Ils sont venus chez moi collecter du sol, mais je ne savais pas car j'étais absent. Et un jour, j'étais dans la communauté et une personne m'a dit que quelqu'un du projet voulait me parler. Je suis resté surpris* »). Les entretiens ont aussi révélé que le type de plantation attribué à certaines familles ne correspondait pas toujours à leur préférence, tel que par exemple à Nova Estrela, où l'agriculteur ayant obtenu le système Bragantin a exprimé clairement qu'il aurait plutôt souhaité un système agroforestier, car « *un champ de manioc, j'en cultive toute l'année* ». Cette situation aurait été la cause de son refus initial de mettre en place sa plantation, et fut une des raisons de l'abandon des autres agriculteurs de la communauté, se désistant apparemment par solidarité avec le premier agriculteur. De plus, un malentendu est également survenu avec ces participants, ceux-ci croyant ne plus pouvoir faire partie de l'expérience car, selon eux, ils « *ne correspondaient plus au critère d'avoir trois participants et trois parcelles par communauté* ». De plus, les entrevues ont montré que le choix final des sites ne correspondait pas toujours à la préférence des participants, affectant la motivation de certains agriculteurs à se rendre dans leur plantation.

3.2.3. Conception des plantations

L'implantation de systèmes « sans brûlis » fut l'idée de départ du projet, mais en raison de l'intérêt mitigé des villageois, un compromis impliquant un usage réduit du feu suscitant davantage d'enthousiasme chez les participants fut plutôt adopté. Trois types de plantations expérimentales ont été conçus, basés sur les recommandations scientifiques et techniques de l'Embrapa et sur les intérêts des populations locales exprimés lors de réunions communautaires. Le design des deux types de systèmes agroforestiers incluant la présence d'arbres a été pensé afin d'obtenir une canopée fermée et d'assurer la protection du sol de même qu'une production graduelle au long de l'année et au fil du temps. Les schémas des systèmes furent présentés aux villageois lors de réunions communautaires tenues au début du projet, et un espace de discussion fut ouvert afin de déterminer plus précisément leur composition. Certaines espèces avaient déjà été présélectionnées par l'équipe de recherche, selon des critères d'accessibilité des semences, de valeur nutritionnelle, et de caractéristiques agricoles et de croissance des plantes. L'intérêt spécifique de chacune des espèces présélectionnées fut évalué lors des réunions, et les villageois ont été amenés à exprimer leurs opinions quant aux besoins particuliers de ces dernières, ainsi qu'au sujet de leurs usages et de leur marché local et régional. Le choix final des espèces a ensuite été fait par l'équipe de recherche, en considérant des aspects sociaux et environnementaux ainsi que des nécessités scientifiques. Le troisième type de plantation (le système Bragantin) a été quant à lui développé par Embrapa dans la région de Bragantin, située près de Belém, et son inclusion dans ce projet de recherche-action constituait un premier essai dans la région du Tapajós. L'ajout d'une bordure de légumineuses autour des systèmes a été pensé par l'équipe scientifique dans le but d'obtenir de l'engrais vert pouvant contribuer au recyclage des nutriments.

Les entrevues ont révélé que les familles propriétaires de systèmes agroforestiers étaient en général satisfaites des espèces sélectionnées pour ces types de plantations.

Cependant, l'organisation en rangées des systèmes a amené davantage de critiques. Par exemple, dans un cas, certains des plants d'açaï se trouvant à des endroits peu favorables ont été retirés par un des agriculteurs participants et relocalisés ailleurs dans sa plantation. De plus, les chefs de famille ayant hérité de systèmes Bragantin ont affirmé que la structure très dense de leur plantation avait eu des effets négatifs sur le développement de certaines cultures, comme le maïs. Ces participants n'avaient toutefois pas exprimé leurs critiques à ce sujet au moment de l'implantation des systèmes puisqu'à leurs yeux, il s'agissait des plantations « *du projet* ».

3.2.4. Implantation des systèmes expérimentaux

L'implantation des systèmes était initialement prévue dans les mois suivant les réunions communautaires où les agriculteurs participants et les espèces composant les systèmes ont été sélectionnés. Or, pour des raisons logistiques et techniques, un retard du défrichage des parcelles choisies est survenu. Ce délai, combiné avec l'arrivée précoce des pluies, a résulté en un brûlis incomplet, ce qui a eu des répercussions importantes sur les plantations tout au long du projet. En effet, le brûlis partiel s'est traduit en un contrôle réduit de la végétation naturelle ainsi qu'en une fertilisation inégale du sol. De plus, contrairement au plan initial, l'implantation des systèmes a dû être faite en plusieurs étapes en raison de délais d'approvisionnement et de transport des semis provenant de la pépinière de l'Embrapa, située à plusieurs heures de bateau des communautés. Certains agriculteurs ont exprimé avoir ressenti une pression de devoir adapter leurs activités pour s'ajuster au calendrier de la présence de l'équipe sur le terrain. Afin de remédier aux contraintes liées à la distance des chercheurs internationaux, une équipe régionale fut mandatée pour assurer une présence régulière dans les communautés. Or, quelques visites techniques ont été décalées par rapport aux échéanciers prévus pour des raisons logistiques et de disponibilité de l'équipe régionale, retardant du même coup certaines étapes de

l'implantation des systèmes. Selon tous les agriculteurs interviewés, ces retards dans le calendrier de plantation ont eu des répercussions négatives sur les plantations, autant pour les systèmes Bragantin que pour les deux types de systèmes agroforestières.

Bien que la collaboration entre les ménages ait été fortement encouragée par l'équipe de recherche afin de soutenir les familles sélectionnées dans l'implantation et l'entretien des systèmes, permettant du même coup une diffusion des apprentissages au sein des communautés, l'enthousiasme général des villageois non propriétaires de plantations expérimentales s'est rapidement estompé. Les personnes interviewées ont effectivement souligné qu'il est difficile, dans la situation de précarité des familles locales « *d'aller travailler volontairement chez les autres qui ont reçu des plantations gratuitement sans rien gagner* ». Cela a amené une nécessité inattendue d'engager des équipes de soutien pour appuyer les familles participantes dans la maintenance des sites, ce qui contrastait avec l'objectif d'efforts communautaires initial.

3.3. Contraintes socioéconomiques et contexte régional

La plupart des personnes interviewées ont déclaré que les habitants de leur communauté avaient peu tendance à s'intéresser aux expérimentations de pratiques d'agroécologie avant l'arrivée de l'équipe de recherche. Des nuances à ce sujet semblaient toutefois exister entre les communautés, puisque certaines familles de Nova Estrela expérimentaient déjà en ce sens ou encore avaient un fort intérêt pour les systèmes agroforestiers (entre autres incluant le cacao, l'acajou, etc.) avant le début du projet. Selon les opinions des participants de São Tomé, la population du village était en moyenne quant à elle plutôt curieuse envers ce type de pratiques, mais sans plus, alors qu'à Araipá, l'intérêt était apparemment absent selon les opinions des participants. Dans ce dernier cas, la réticence à l'arrivée de ce type de projet était plus

vive. Selon plusieurs témoignages, cela pouvait découler d'une expérience négative en lien avec l'échec d'un projet gouvernemental antérieur ayant eu des répercussions importantes autant pour les familles participantes que pour l'ensemble de la communauté. Cet échec a résulté entre autres en de lourdes dettes pour les participants, en la dissolution de l'association locale, et a contribué à la désunion des villageois, ce qui suggère que le contexte historique local peut également avoir contribué à limiter la mobilisation des participants au projet.

La situation de précarité dans laquelle vivent les ménages amène des contraintes d'ordre économique limitant les possibilités d'expérimentation. Ainsi, tel qu'affirmé par un des participants, « *il n'y a pas d'argent pour investir* ». Par exemple, certaines des personnes s'étant désistées du projet ont justifié leur désengagement en expliquant qu'elles devaient « *choisir entre envoyer les fils à l'école ou les envoyer travailler dans la plantation* ». De plus, le faible marché régional pour certains des produits des systèmes a constitué un facteur additionnel de démotivation. Même si les deux familles ayant continué à maintenir leur plantation ont pu vendre une certaine quantité de fruits dans les villages environnants, la plupart de leur production a été consommée ou offerte à des voisins. Ces participants ont rapporté que, malgré une production satisfaisante de certaines espèces telles que l'araza ou l'acérولا, une partie de leur production a dû être laissée dans la plantation, faute de possibilités pour la cueillette et en raison du peu de perspectives pour l'écoulement des produits. Ce contexte difficile est accentué par l'isolement relatif des communautés et l'éloignement des marchés, de même que par la nécessité d'avoir recours à des intermédiaires pour la vente. De plus, la difficulté de transformation et de conservation des produits due à l'absence d'électricité a également été citée comme étant une source de démotivation.

Enfin, diverses situations particulières ont aussi amené certaines familles à devoir abandonner leur plantation contre leur gré. Les activités liées au projet pouvaient en

effet difficilement rivaliser avec les priorités et urgences vécues par les familles participantes, telles que les difficultés de santé (bébé gravement malade), les besoins de subsistance (opportunités de travail à l'extérieur), ou même les nécessités de fuite de leur terre (en raison de menaces de mort). En outre, d'importants changements se produisent actuellement dans la région d'étude avec l'accélération du développement des routes, des ports et d'industries, s'accompagnant d'un exode marqué des communautés rurales vers les petites et grandes villes. Une dynamique de migration a effectivement été observée dans deux des villages participants au cours du projet. Cette tendance à l'abandon de la vie rurale est en contraste avec les bénéfices à long terme et l'esprit de permanence sur la terre associés à l'agroécologie, pouvant également contribuer à expliquer l'intérêt mitigé pour ce type de pratiques.

4. Discussion

Les résultats de cette étude ont fait ressortir l'importance de la prise en compte des perceptions locales, du partage des pouvoirs et de l'intégration des savoirs complémentaires dans les processus d'appropriation de projets d'intervention prenant place en contexte de subsistance.

4.1. La prise en compte des perceptions locales

Un vaste ensemble de perceptions quant aux bénéfices de l'agroécologie existe entre les communautés d'étude : alors que peu d'intérêt envers les pratiques d'agroécologie aurait pu être attendu de la part des participants du village s'étant désisté dans les premières phases du projet, ces derniers se sont montrés au contraire dans l'ensemble plutôt enthousiastes pour ce type de pratiques. Les participants de cette communauté ont été les seuls de toutes les personnes interviewées à aborder spontanément et en premier lieu les avantages environnementaux de l'agroécologie, avant même les

bénéfices économiques. Cela est peut-être lié au fait que ces derniers, vivant dans un environnement plus déboisé et dégradé que les habitants des deux autres villages (Rozon et coll., 2015), pourraient avoir été amenés à valoriser davantage les usages de la terre pouvant contribuer à la restauration de leur milieu de vie. En revanche, il est possible que les personnes vivant dans un milieu moins déboisé aient tendance à associer la préservation de l'environnement à d'autres activités (telles que la cueillette en forêt) plutôt qu'à l'agroécologie, un type de pratique qui nécessite néanmoins un déboisement initial. Il est en effet reconnu que les perceptions sont entre autres influencées par le milieu de vie et dépendent de la manière dont celui-ci est utilisé. Ces perceptions se traduisent ensuite en pratiques concrètes qui peuvent varier d'une population à une autre, selon l'influence de multiples autres facteurs (Godelier, 1984).

Les bénéfices des pratiques agroforestières, tels que perçus par les participants, sont en général concrets (ex : alimentation, revenus), même s'ils sont éloignés dans le temps. Cela contraste avec l'optique du projet étudié, qui met de l'avant les avantages pouvant être abstraits et peu prioritaires pour les populations locales (Bercot, 2009), telle que la santé environnementale (PLUPH, 2016). En effet, aucun des participants interviewés n'a mentionné les bienfaits de l'agroécologie pour la santé (au-delà des bénéfices de la consommation de fruits frais), ce qui indique que malgré la présence de l'équipe de recherche dans les communautés d'étude depuis plusieurs années, les liens entre usage de la terre et santé humaine sont toujours peu tangibles pour les participants. Cela suggère que l'utilisation du thème de la santé environnementale comme levier pour faire la promotion de pratiques agricoles durables semble être peu efficace pour susciter l'intérêt des participants, pouvant par conséquent affecter l'appropriation de l'intervention par ces derniers.

Puisque les pratiques et actions découlent des perceptions (Godelier, 1984 ; Barth, 1995), il est essentiel que les projets d'intervention soient conçus et développés en

tenant compte des perceptions des populations participantes afin de mieux correspondre à leur réalité. De nombreuses initiatives de recherche rappellent d'ailleurs la pertinence de l'intégration des représentations locales pour l'adoption de stratégies efficaces permettant des résultats optimaux (Barrios et Trejob, 2003 ; Fujisaka, 1989 ; Saïdou et coll., 2004). Il est reconnu que des interventions basées sur des valeurs et représentations éloignées des réalités locales peuvent quant à elles rencontrer des difficultés de fonctionnement et de communication entre les différents acteurs. En effet, tel qu'affirmé par Godelier (1984) : « Toute initiative visant un développement local qui ne tient pas compte des représentations locales (...) risque de se retrouver devant des défis issus de profonds chocs de visions. Il est donc essentiel de valoriser l'étude, la compréhension et l'intégration des différentes représentations de l'environnement dans tout projet d'intervention, car celles-ci constituent un des facteurs pouvant mener au succès ou à l'échec de ce dernier. »

4.2. Le partage des pouvoirs entre les différents acteurs

Les résultats de cette étude suggèrent que la possibilité de participer activement aux processus de recherche et la distribution des pouvoirs (c'est-à-dire, la possibilité d'autonomie et de choix) entre les chercheurs et les populations participantes (Anadón, 2005) ont un impact sur le déroulement de projets de recherche-action prenant place *in situ* en contexte réel, et peuvent affecter directement l'appropriation et la diffusion des initiatives au sein des communautés. Au cours de l'intervention étudiée, une série de difficultés sont survenues suite à des décisions ou méthodes s'étant avérées incomprises par les participants, ou encore, correspondant peu aux attentes de ceux-ci. Le processus de sélection des familles auxquelles ont été attribués les systèmes expérimentaux, entre autres basé sur une étude de réseaux (Valadão, 2009), s'est notamment montrée peu efficace dans le présent cas, comme l'illustrent l'abandon de certains participants ainsi que le peu de dissémination des pratiques

proposées. Même si l'utilisation des réseaux sociaux pour favoriser la diffusion des innovations s'est montrée effective à plusieurs reprises dans des projets antérieurs (Kincaid, 2004 ; Mertens et coll., 2005 ; Oreszczyn et coll., 2010 ; Lauber et coll., 2008 ; Sandström et Rova, 2010), les résultats de cette approche dépendent toutefois des spécificités des réseaux en question (Bodin et coll., 2006 ; Ernstson et coll., 2008) ainsi que de multiples autres facteurs (Mertens et coll., 2005). En effet, cette méthode est intéressante du point de vue de la diffusion des connaissances, mais ne tient pas nécessairement compte de la prédisposition globale des participants (ex : âge, santé, situation économique, soutien familial, autres priorités, etc.) à participer au projet ni de leurs visions par rapport aux pratiques proposées. De plus, une sélection basée exclusivement sur une étude de réseaux peut tendre à privilégier, comme ce fut le cas dans le présent cas, des individus ayant des rôles d'autorité dans les communautés. Cela a pour effet de contribuer involontairement à renforcer la hiérarchie communautaire, ce qui contraste avec l'esprit d'équité normalement encouragé dans les projets collaboratifs (Reed, 2008). Une telle sélection de leaders peut également avoir un double tranchant, tel qu'observé dans la présente étude, lorsque ces derniers ne partagent pas la vision des chercheurs. De plus, ce type de méthode est peu dynamique sur le plan temporel et ne considère pas nécessairement la conception du futur ni les aspirations des participants. Par exemple, quoique très influent pour ses connaissances en agriculture, un des participants sélectionnés à travers l'étude de réseaux n'envisageait pas de continuer à vivre de la terre, résultant en l'abandon précoce de sa parcelle lors de son exode vers la ville. De plus, le désistement en bloc de la communauté de Nova Estrela, découlant d'un malentendu lié au mécontentement d'un des participants quant au type de plantation pour lequel il avait été sélectionné, est un autre exemple confirmant la pertinence d'approches privilégiant un réel partage des pouvoirs au sein des interventions.

Les doutes et les incompréhensions observées chez les participants quant aux motifs et objectifs du projet étudié font ressortir l'importance d'une période préalable à

l'implantation des interventions pour faciliter la collaboration subséquente entre les différents acteurs. Dans le cas étudié, une telle phase pré-projet aurait pu constituer un moment privilégié et essentiel pour définir les objectifs communs et respectifs de chacune des parties, et permettre de clarifier les priorités, les possibilités, les champs d'action et les rôles des chercheurs et des participants. D'autres expériences ont d'ailleurs montré que le temps et les ressources allouées préalablement aux interventions peuvent contribuer à réduire les coûts pouvant survenir ultérieurement, en plus d'amener des résultats plus probants (Chuenpagdee et Jentoft, 2007). Un tel espace de dialogue dès les premières phases des interventions peut également aider à une meilleure compréhension mutuelle des représentations et des attentes de chacun, favorisant ainsi la pérennité de projets qui soient pertinents sur le plan scientifique, tout en correspondant davantage au contexte où ils prennent place.

4.3. L'intégration des savoirs complémentaires

Cette étude réitère la pertinence de l'intégration des savoirs locaux, depuis longtemps reconnus comme étant complémentaires aux savoirs scientifiques (Lévi-Strauss, 1962), dès la conception de projets d'intervention (Chuenpagdee et Jentoft, 2007). Dans le cas étudié, les défis rencontrés lors de l'implantation des systèmes expérimentaux, tel que par exemple le retard par rapport au calendrier agricole, ou encore l'impact marqué des conditions environnementales (Chapitre 2), rappellent que la reconnaissance des savoirs profanes constitue une des clés du succès de tels projets (Armitage et coll., 2009). Cela rejoint de nombreuses autres études qui soulignent la pertinence de la prise en compte des différents types de savoir pour une meilleure efficacité des stratégies dans les recherches-action (Barrios et Trejob, 2003 ; Fujisaka, 1989 ; Saïdou et coll., 2004). En effet, puisque les populations locales ont une connaissance empirique de leur milieu, issue de l'expérience et de l'observation (Barthélémy, 2005), les projets d'intervention ont intérêt à valoriser

pleinement les divers modes de connaissances individuelles et collectives existant chez les participants, en plus des savoirs académiques et théoriques (Barth, 2002).

Pour une mise en œuvre optimale d'interventions telles que celle étudiée, des approches privilégiant une co-construction des savoirs et mettant en valeur l'implication active d'une pluralité d'acteurs (Akrich, 2013) sont prometteuses car elles favorisent l'équité, l'*empowerment* et la confiance (Reed, 2008). Les projets inspirés de telles approches, comme par exemple de la cogestion adaptative (*adaptive co-management*) (Armitage et coll., 2009 ; Berkes, 2009 ; Chuenpagdee et Jentoft, 2007 ; Plummer, 2009), valorisent la rencontre des savoirs expérientiels et expérimentaux, la gouvernance et l'apprentissage social comme moyens d'améliorer la gestion des ressources dans un contexte complexe (Armitage et coll., 2009). Ces projets, avec leur caractère réflexif, flexible et itératif, contrastent avec les méthodes conventionnelles qui sont souvent plus rigides et linéaires (Cornwall et Jewkes, 1995), et ont le potentiel de correspondre davantage aux priorités des populations concernées, tout en générant des résultats plus riches sur le plan scientifique (Anadón, 2005). En effet, l'imbrication des connaissances complémentaires se traduit souvent par une compréhension plus profonde des systèmes naturels, sociaux et économiques dans lesquels les projets prennent place (Barthélémy, 2005). Celle-ci amène donc des répercussions positives non seulement pour les interventions, mais également pour les communautés participantes (Altieri, 2004). De plus, puisqu'elle s'accompagne généralement d'une meilleure compréhension des priorités et des attentes des populations locales, la valorisation des différents savoirs favorise l'appropriation des interventions par les participants, et conséquemment, contribue à la pérennité des initiatives (Fujisaka, 1989).

5. Conclusion

Au delà des considérations biophysiques et techniques, les facteurs humains ont un rôle majeur dans le succès et la pérennité de projets d'intervention menés *in situ* en contexte de subsistance. Cette étude souligne les relations entre les méthodes d'implantation des projets et leur appropriation par les communautés dans lesquelles ils prennent place. Les approches privilégiant une prise en compte des perceptions locales, un partage des pouvoirs entre les différents acteurs impliqués, ainsi qu'une intégration des savoirs complémentaires mènent à une meilleure conciliation des objectifs des chercheurs et des populations participantes. Ces types d'approches contribuent à clarifier les priorités, possibilités, limites et attentes des différentes parties, favorisant ainsi l'établissement d'un lien de confiance entre les chercheurs et les participants. De plus, la mise en place d'une étape « zéro », c'est-à-dire d'une période préalable à l'implantation des interventions, constitue un des éléments essentiels à leur réussite, car elle permet de mieux appréhender les défis potentiels et d'ajuster les stratégies dès les premières phases des projets, contribuant à éviter d'éventuels coûts subséquents.

Cependant, même si elles mènent à des résultats positifs pour les interventions comme pour les populations participantes, l'adoption de telles approches en recherche est toutefois limitée en raison de plusieurs contraintes (par exemple : période et conditions de financement, orientations de recherche des centres d'études, types d'expertises disciplinaires, etc.). L'horizon de temps limité des projets de recherche peut également restreindre les possibilités de mise en œuvre et de suivi de certains types d'interventions, et en particulier les étapes préalables aux interventions, pourtant essentielles pour optimiser les chances de succès. Cette étude fait ressortir les contrastes souvent flagrants entre la réalité des équipes de recherche et celle des communautés dans lesquelles les projets prennent place. À un niveau plus large, elle soulève la nécessité de repenser les critères de financement ainsi que les modes de

fonctionnement des organismes de recherche, afin de réduire les contraintes à la réalisation de projets plus adaptés aux réalités locales, tout en étant pertinents sur le plan scientifique.

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet *Poor Land Use, Poor Health* (PLUPH), portant sur les relations entre l'usage de la terre, l'environnement et la santé humaine dans les tropiques humides (www.pluph.uqam.ca). Les auteurs remercient sincèrement les communautés de São Tomé, Araipá et Nova Estrela pour leur participation à cette étude et pour leur confiance. Grands remerciements également à tous les membres du projet PLUPH, aux équipages des bateaux de recherche, aux aides de terrain, aux habitants de la Vicinal da Batata, de même qu'à l'Institut des sciences de l'environnement (ISE) de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et au Biodôme de Montréal. Cette étude a été possible grâce au soutien financier de l'Initiative de recherche en santé mondial (IRSM), du Centre de recherche pour le développement international (CRDI), de Santé Canada, de l'Agence canadienne pour le développement international (ACDI), du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) et de la Communauté de pratique canadienne sur les approches écosystémiques de la santé (CoPEH-Canada).

Références

- Akrich, M. (2013). Co-construction, Dans *Dictionnaire critique et interdisciplinaire de la participation*, Castillo, I., Barbier, R., Blondiaux, L., Chateauraynaud, F., Fourniau, J.-M., Lefebvre, R., Neveu, C. et Salles, D. (Eds.), Paris : GIS Démocratie et Participation. Disponible à : <http://www.dicopart.fr/es/dico/co-construction>.
- Alfaia, S.S., Ribeiro, G.A., Nobre, A.D., Luizão, R., C., Luizão, F.J., (2004). Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazônia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 102 (3) : 409-414.
- Altieri, M.A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2 (1) : 35-42.
- Altieri, M.A. et Toledo, V.M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies*, 38 (3) : 587-612.
- Altieri, M.A. et Nicholls, C.I. (2012). Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency. Dans *Sustainable Agriculture Reviews*, vol. 11, Lichtfouse (Ed.), p. 1-29, Springer.
- Anadón, M. (2005). Participation, pouvoir et contrôle de l'action. Dans *Éducation et Environnement - Un croisement de savoirs*, Sauvé, L., Orellana, I. et Van Steenberghe, É. (Eds.), Les Cahiers scientifiques de l'ACFAS (Association francophone pour le savoir), p. 164-173.
- Armitage, D.R., Plummer, R., Berkes, F., Arthur, R.I., Charles, A.T., Davidson-Hunt, I.J., Diduck, A.P., Doubleday, N.C, Johnson, D.S, Marschke, M., McConney, P., Pinkerton, E.W. et Wollenberg, E.K. (2009). Adaptive co-management for social-ecological complexity. Review. *Frontier in Ecology and the Environment*, 7 (2) : 95-102.
- Barrios, E. et Trejob, M.T. (2003). Implications of local soil knowledge for integrated soil management in Latin America. *Geoderma*, 111, 217-231.
- Barth, F. (1995). Other knowledge and Other Ways of Knowing. *Journal of Anthropological research*, 51 (1) : 65-66.
- Barth, F. (2002). An Anthropology of Knowledge. *Current anthropology*, 43 (1), 18 p.

- Barthélémy, C. (2005). Les savoirs locaux : entre connaissances et reconnaissance. *Vertigo*, 6 (1), 6 p.
- Béliveau, A., Davidson, R., Lucotte, M., do Canto Lopes, O., Paquet, S. et Vasseur, C. (2015). Early effects of slash-and-burn cultivation on soil physicochemical properties of small-scale farms in the Tapajós region, Brazilian Amazon. *Journal of Agricultural Science*, 153 : 205-221.
- Berçot, M. (2009). Uma questão de perspectiva: os enfoques especialista e local sobre o contexto de saúde e ambiente na região do meio Tapajós, Amazônia Brasileira, Dissertação de Mestrado de Pós Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 139 p.
- Berkes, F. (2009). Evolution of co-management: Role of knowledge generation, bridging organizations and social learning. Review. *Journal of Environmental Management*, 90 : 1692-1702.
- Blais, M. et Martineau, S. (2007). L'analyse inductive générale : description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes. *Recherches Qualitatives*, 26 (2) : 1-18.
- Bodin, Ö., Crona, B. et H. Ernstson. (2006). Social networks in natural resource management: What is there to learn from a structural perspective? *Ecology and Society* 11 (2): r2. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/resp2/>
- Cornwall, A. et Jewkes. R. (1995). What is participatory research ? *Social Science and Medicine*, 41 (12) : 1667-1676.
- Christanty, L. (1986). Shifting Cultivation and Tropical Soils: Patterns, Problems and Possible Improvements. Dans *Traditional Agriculture in Southeast Asia: A Human Ecology Perspective*, Sous la direction de G.G. Marten, Boulder, USA: Westview Press, p. 226-240.
- Chuenpagdee, R. et Jentoft, S. (2007). Step zero for fisheries co-management: What precedes implementation. *Marine Policy*, 31 : 657-668.
- Coelho, A, Silva, M et Nascimento, N. (2013). *O Estado do Pará no Contexto do Desmatamento*. Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará, 19 p.

- de Mello, N.A. et Théry, H. (2003). L'État brésilien et l'environnement en Amazonie : évolutions, contradictions et conflits. *L'Espace Géographique* 1, 3-20.
- Ernstson, H., Sörlin, S. et Elmqvist, T. (2008). Social movements and ecosystem services – the role of social network structure in protecting and managing urban green areas in Stockholm. *Ecology and Society* 13 (2) : 39.
- Fallery, B. et Rodhain, F. (2013). Quatre approches pour l'analyse de données textuelles : lexicale, linguistique, cognitive, thématique. XVI^{ème} Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique AIMS, 2007, Montréal, Canada. AIMS, p. 1-16.
- Farella, N., Davidson, R., Lucotte et Daigle, S. (2007). Nutrient and mercury variations in soils from family farms of the Tapajós region (Brazilian Amazon): Recommendations for better farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120 : 449-462.
- Fearnside, P.M. (2002). Avanço Brasil: Environmental and Social Consequences of Brazil's Planned Infrastructure in Amazonia. *Environmental Management*, 30 (6) : 735-747.
- Fearnside, P.M. (2008). The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. *Ecology and Society*, 13 (1) : 23.
- Fischer, A. et Vasseur, L., (2002). Smallholder perceptions of agroforestry projects in Panama. *Agroforestry systems*. 54 : 103-113.
- Franzel, S., Coe, R., Cooper, P., Place, F. et Scherr, S.J. (1995). Assessing the adoption potential of agroforestry practices in sub-Saharan Africa. *Agricultural Systems*, 69 (2001) : 37-62.
- Fujisaka, S. (1989). The need to build upon farmer practice and knowledge: reminders from selected upland conservation projects and policies. *Agroforestry Systems*, 9 : 141-153.
- Galvão, E.U.P, Cravo, M.S., Nogueira, O.L. et Shimizu, M.K. (2008). *Sistema Bragantino para a Agricultura Familiar. Passo a passo*. Embrapa Amazônia Oriental, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Belém, PA, 38 p. Disponible en ligne : http://www.cpatu.embrapa.br/publicacoes_online

- Glendinning, A., Mahapatra, A., et Mitchell, C.P. (2001). Modes of Communication and Effectiveness of Agroforestry Extension in Eastern India. *Human Ecology*, 29 (3) : 283-305.
- Godelier, M. (1984). *L'Idéal et le Matériel*. Pensée, économies sociétés, Paris : Fayard, 348 p.
- Guest, G., Namey, E.E. et Mitchell, M.L. (2013). Collecting qualitative data : a field manual for applied research. États-Unis : SAGE Publications, 376 p.
- Hecht, S. (1995). *The evolution of agroecological thoughts*. Dans *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*, 2nd edition, Sous la direction de M. Altieri, p. 1-19, Berkeley, USA : Westview Press.
- Kincaid, D.L. (2004). From Innovation to Social Norm: Bounded Normative Influence. *Journal of Health Communication*, 9 : 37-57.
- Lauber, T.B., Decker, D.J. et Knuth, B. (2008). Social Networks and Community-Based Natural Resource Management. *Environmental Management*, 42 : 677-687
- Lévi-Strauss, C. (1962). *La Pensée Sauvage*. Paris : Plon, 395 p.
- Long, A.J. et Nair, P.K.R. (1999). Trees outside forests: agro-, community, and urban forestry. *New Forests*, 17 : 145-174.
- Margulis, S. (2004). *Causes of Deforestation of the Brazilian Amazon*. World Bank Working Paper no 22, Washington, DC, 77 p.
- McGrath, D.A., Smith, K.C., Gholz, H.L. et Oliveira, F. de Assis (2001). Effects of Land-Use Change on Soil Nutrient Dynamics in Amazônia. *Ecosystems*, 4 : 625-646.
- Mercer, D.E. (2004). Adoption of agroforestry innovations in the tropics: A review. *Agroforestry Systems*, 204411 : 311-328.
- Mertens, F., Saint-Charles, J., Mergler, D., Passos, C.J. et Lucotte, M. (2005). Network Approach for Analyzing and Promoting Equity in Participatory Ecohealth Research. *EcoHealth*, 2 : 1-15.

- Nepstad, D., Capobianco, J.P., Barros, A.C., Carvalho, G., Moutinho, P., Lopes, U. et Lefebvre, P. (2000). *Avança Brasil: Os custos ambientais para a Amazônia, IPAM and Instituto Socioambiental. Cenários Futuros para a Amazônia*. Project report. Belém, Brazil, Gráfica e Editora Alves, 24 p.
- Oreszczyn, S., Lane, A. et Carr, S. (2010) The role of networks of practice and webs of influencers on farmers' engagement with and learning about agricultural innovations. *Journal of Rural Studies*, 26 : 404-417.
- Pasquis, R. et de Oliveira, L.M. (2007). La récupération des terres dégradées : un enjeu socio-environnemental prioritaire en Amazonie brésilienne. *Confins 1*. DOI: 10.4000/ confins.751. Disponible en ligne à : <http://confins.revues.org/751>
- Plummer, R. (2009). The Adaptative Co-Management Process: an Initial Synthesis of Representative Models and Influential Variables. *Synthesis Ecology and Society*, 14 (2): 24.
- PLUPH (2016). Site web du projet *Poor Land Use, Poor Health*. www.pluph.uqam.ca.
- Raintree, J.B. (1983). Strategies for enhancing the adoptability of agroforestry innovations. *Agroforestry Systems*, 1: 173-187.
- Reed, M.S. (2007). Participatory technology development for agroforestry extension: an innovation-decision approach. Review. *African Journal of Agricultural Research*, 2 (8) : 334-341.
- Reed, M.S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological Conservation*, 141 : 2417-2431.
- Rocheleau, D. (1991). Participatory research in agroforestry: learning from experience and expanding our repertoire. *Agroforestry Systems*, 15 : 111-137.
- Rodrigues, A.L., Ewers, R.M., Parry, L., Souza Jr. C., Varissimo, A., et Balmford, A. (2009). Boom-and-Bust Development Patterns Accros the Amazon Deforestation Frontier. *Science*, 324 : 1435-1437.
- Roulet, M. et Lucotte, M. (1995). Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferralitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. *Water, Air, and Soil Pollution*, 80 (1-4) : 1079-1088.

- Roulet, M., Lucotte, M., Saint-Aubin, M., Tran, S., Rheault, I., Farella, N., de Jesus da Silva, E., Dezencourt, J., Sousa Passos, C.J., Santos Soares, G., Guimaraes, J.R., Mergler, D. et Amorim, M. (1998). The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará state, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 223 : 1-24.
- Roulet, M., Lucotte, M., Farella, N., Serique, G., Coelho, H., Passos, C.J.S., da Silva, E de Jesus, Andrade, P.C., Mergler, D., Guimaraes, J.R.D. et Amorim, M. (1999). Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. *Water Air Soil Pollut*, 112 : 297-313.
- Roulet M., Lucotte, M., Canuel, R., Farella, N., Courcelles, M., Guimarães, J.R.D., Mergler, D. et Amorim, D. (2000). Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in the central Amazon. *Chem Geol*, 165 : 243-66.
- Rozon, C., Lucotte, M., Davidson, R., Oestreicher, J.S., Paquet, S., Mertens, F., Sousa Passos, C. et Romana, C.A. (2015). Spatial and temporal evolution of land use in the Tapajós region of the Brazilian Amazon. *Acta Amazonica* 45 (2) : 203-214.
- Saïdou, A., Kuyper, T.W., Kossoul, O.K., Tossou, R. et Richards, P. (2004). Sustainable soil fertility management in Benin: learning from farmers. *Wageningen Journal of Life Sciences (NJAS)*, 52 (3/4) : 349-369.
- Sandström, A., et Rova. C. (2010). Adaptive co-management networks: a comparative analysis of two fishery conservation areas in Sweden. *Ecology and Society*.
- Scherr, S.J. (1991). On-farm research: the challenges of agroforestry. *Agroforestry Systems*, 15 : 95-110.
- Semedo, R.J et Barbosa, R.I. (2007). Árvores frutíferas nos quintais urbanos de Boa Vista, Roraima, Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 37 (4) : 497-504.
- Siren, A.H. (2007). Population Growth and Land Use Intensification in a Subsistence-based Indigenous Community in the Amazon. *Human Ecology*, 35 : 669-680.
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd Edition*. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington D.C. 871 p.

- Tremblay, S., Lucotte, M., Reveret, J.-P., Davidson, R. Mertens, F., Passos, C.J. et Romana, C.A. (2015). Agroforestry systems as a profitable alternative to slash and burn practices in small-scale agriculture of the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, 89 : 193-204.
- Valadão, L. (2009). O papel das lideranças comunitárias em projetos de saúde e ambiente: uma análise das redes sociais em comunidades do Rio Tapajós, Pará. Dissertação de Mestrado de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 81 p.

CHAPITRE V

CONCLUSION GÉNÉRALE

Face aux impacts de l'agriculture conventionnelle sur les populations et les écosystèmes, l'agroécologie suscite de plus en plus l'engouement des institutions et des organisations travaillant pour le développement rural (Altieri et Toledo). Dans le contexte des grandes transformations actuelles et de l'augmentation de la présence humaine en Amazonie brésilienne (Mahar, 1989 ; Margulis, 2004), des pratiques inspirées de l'agroécologie peuvent contribuer à l'amélioration du bien-être des communautés locales de par leurs bénéfices autant sur le plan de l'alimentation, des retombées économiques, de l'autonomisation (*empowerment*) des petits agriculteurs que de leurs effets positifs sur la fertilité des sols et sur l'environnement (Altieri et Nicholls, 2012; Tremblay et coll., 2015).

Se penchant sur le volet d'intervention agroécologique du projet PLUPH mis en œuvre dans des communautés rurales du Tapajós (en Amazonie brésilienne), la présente thèse a exploré si de telles pratiques représentent une avenue prometteuse pouvant contribuer à réduire la dépendance des populations des régions rurales de l'Amazonie au brûlis. Son objectif a été d'évaluer la viabilité, d'un point de vue social et environnemental, des systèmes implantés dans le cadre du projet étudié.

5.1. Principales conclusions de la thèse

Chacun des chapitres de cette thèse contribue à l'avancement des connaissances scientifiques en amenant des éléments éclairants sur différents aspects entourant la viabilité de l'intervention étudiée. Le premier chapitre, consacré au développement des systèmes agroforestiers implantés dans deux des communautés participantes, a permis de déterminer, à travers une étude comparative de la reprise, de la croissance et de la nutrition des plants, lesquelles d'entre les espèces sélectionnées sont les plus adéquates pour des consortiums agroforestiers mis en place dans des conditions rudimentaires. Un des intérêts particuliers de ce chapitre est qu'il a permis de caractériser le développement d'espèces peu documentées (notamment l'araza, l'açaï « BRS Pará », l'andiroba et la noix du Brésil). L'étude a montré que les taux de succès sont très variables entre les espèces et les sites. En général, les espèces indigènes telles que l'andiroba, la noix du Brésil et l'araza sont particulièrement recommandées pour de tels consortiums, en raison de leur bonne adaptation aux conditions hétérogènes de la région et de leurs faibles exigences nutritionnelles (Vitousek et Sanford, 1986 ; Chapin, 1980). Les espèces exotiques telles que l'acérôla et l'oranger (généralement des cultivars améliorés génétiquement dans un but commercial) sont toutefois souvent caractérisées par des exigences supérieures en éléments nutritifs (Charrier et coll., 1997) et ne devraient quant à elles être plantées que dans des systèmes mis en place dans des environnements plus fertiles ou dans des plantations où des fertilisations régulières sont envisageables. L'inclusion d'espèces indigènes dans la conception de consortiums est d'autant plus souhaitable qu'elle contribue également à la reconnaissance et à la valorisation d'espèces régionales et/ou traditionnellement utilisées par les populations locales.

Le deuxième chapitre, suite immédiate du premier, s'est attardé sur les facteurs ayant influencé les différents taux de succès observés entre les espèces plantées et les sites étudiés. Il fait ressortir le rôle prépondérant des aspects humains et des conditions

biophysiques au-delà de celui des facteurs édaphiques, dans le développement et la pérennité des systèmes étudiés. D'une manière générale, ce chapitre confirme l'intérêt, pour une conception optimale des consortiums agroforestiers, de valoriser des espèces tirant le mieux profit des conditions hétérogènes prévalant dans la région amazonienne. Les résultats ont montré que les variations météorologiques, et plus précisément la faible pluviométrie, peuvent avoir des répercussions sur les systèmes mis en place. Les invasions d'insectes et d'animaux peuvent également affecter certaines espèces (tel qu'observé dans la présente étude pour les manguiers, les corossoliers, les bananiers, les pois doux ainsi que les ananas). L'étude attire donc l'attention sur l'importance du choix d'espèces ayant une bonne tolérance aux variabilités météorologiques, surtout dans un contexte où celles-ci seront vraisemblablement accentuées en raison des bouleversements climatiques actuels et futurs (Marengo et coll., 2013). Ce chapitre rappelle en outre que les intrusions de bétail et d'animaux sauvages représentent un problème dans les régions tropicales (Lemessa et coll., 2013) et qu'il est essentiel de tenir compte dans le design des systèmes de la vulnérabilité des différentes espèces aux invasions potentielles. Enfin, le chapitre souligne l'importance cruciale des facteurs humains dans le succès de telles interventions, et fait ressortir que le contexte de subsistance (ex : contraintes économiques, soutien technique déficient, difficulté d'accès au marché, peu de possibilité de transformation des produits, etc.) limite la marge de manœuvre des petits agriculteurs pour l'adoption de pratiques alternatives.

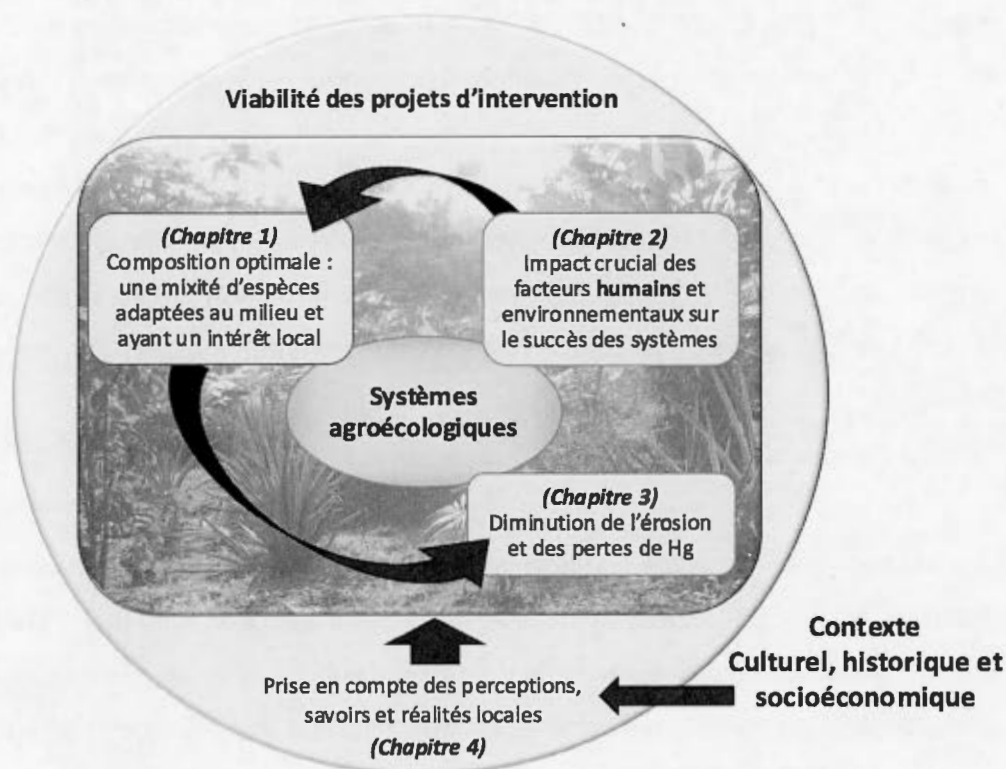
S'intéressant notamment aux bénéfices environnementaux des systèmes étudiés, la présente thèse s'est penchée sur la question de l'érosion des sols dans le troisième chapitre, et plus particulièrement de la mobilité du Hg, qui constitue une des problématiques centrales du projet dans lequel s'insère cette étude (PLUPH, 2016). L'analyse comparative des niveaux d'érosion dans différents sites (agroforestier, d'agriculture de cycle court et de forêt mature) a confirmé l'efficacité de l'agroforesterie quant à la réduction de l'érosion et de la perte du Hg et des cations

des sols. Même si l'effet positif des systèmes agroforestiers pour le maintien de la fertilité des sols a déjà été largement reconnu (Altieri et Nicholls, 2012), leur capacité de rétention du Hg n'avait pas été étudiée précédemment. Ce projet met donc en lumière un avantage additionnel de l'adoption de pratiques agroécologiques, et ce, dès leurs premiers stades de développement.

Dans le quatrième chapitre, la thèse a adopté une approche plus large pour s'intéresser aux processus entourant l'appropriation des projets d'intervention par les communautés locales. Basé sur des données qualitatives issues d'entrevues et d'observations directes, ce chapitre attire l'attention sur la nécessité de l'intégration des représentations locales, de la division des pouvoirs et de l'imbrication des savoirs traditionnels et scientifiques pour favoriser la pérennité des interventions.

L'intégration des éléments issus des quatre chapitres de cette thèse offre un regard écosystémique sur les défis et avantages de la mise en place d'interventions faisant la promotion de l'adoption de systèmes agroécologiques en Amazonie. L'étude a permis d'évaluer la viabilité des systèmes proposés en intégrant différentes dimensions complémentaires touchant notamment la pédologie, l'adaptation des espèces sélectionnées, les conditions influençant le succès des systèmes, l'érosion et la conservation des sols, de même que les facteurs humains affectant l'appropriation de l'intervention (Fig. 1). Puisque la réalité des communautés ayant participé à cette étude est représentative de celle de nombreux villages amazoniens, les résultats de cette thèse pourront être utiles pour la conception et la mise en œuvre de futures initiatives agroécologiques réalisées dans des contextes similaires partout dans les régions rurales de l'Amazonie.

Fig. 1 : Schéma résumant les principales conclusions de l'étude



5.2. Forces et limites de l'étude

Cette étude est originale de par son approche à la fois interdisciplinaire, longitudinale et participative favorisant la rencontre de la recherche et de l'action, en contexte réel. Son design longitudinal a permis de suivre le développement des systèmes étudiés pendant les quatre années suivant leur implantation et d'explorer les dynamiques entourant l'appropriation de l'intervention dès les premières phases du projet étudié et durant toute sa durée. Son interdisciplinarité de même que son approche participative sont essentielles pour aborder les enjeux entourant l'appropriation de telles interventions avec un regard juste et éclairé tenant compte des réalités multidimensionnelles de la région. Les résultats de l'étude nous mènent à réitérer la

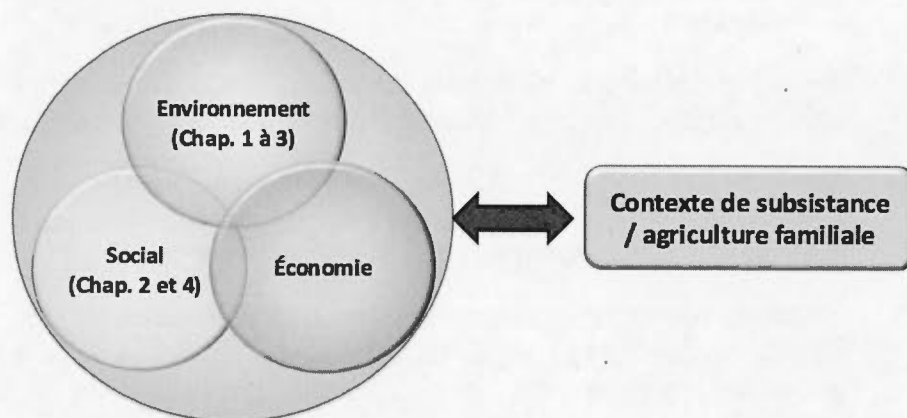
pertinence d'aborder les questions concernant la petite agriculture avec une approche intégrée et *in situ*, qui prend en considération les défis rencontrés par les agriculteurs et agricultrices familiaux produisant dans des conditions rudimentaires, pouvant autrement être ignorés par des projets réalisés sur des parcelles expérimentales hors ferme. L'approche privilégiée renforce la validité de l'étude puisqu'elle s'ancre dans un contexte réel et, par conséquent, génère des résultats correspondant davantage aux réalités des populations locales. Avec son caractère interdisciplinaire, participatif et longitudinal, l'étude a pu amener une meilleure compréhension des défis entourant l'adoption de pratiques alternatives au brûlis, influençant la pérennité des interventions mises en œuvre dans un contexte de subsistance.

Un tel projet s'accompagne toutefois de certaines limites liées à diverses contraintes temporelles, méthodologiques et logistiques. Dans le cadre de cette thèse, afin de mieux cerner les champs d'intérêt de l'étude, il a été décidé de ne s'intéresser qu'à un seul des deux piliers de santé environnemental (c.-à-d. l'exposition au Hg) utilisé par le projet PLUPH pour faire la promotion de l'agroécologie, et de ne pas se pencher sur la question de la maladie de Chagas. Or, il serait intéressant, lors de la poursuite éventuelle des travaux de l'équipe dans la région d'étude et lorsque les systèmes implantés seront davantage développés, d'explorer le potentiel de ce modèle de culture à limiter la dispersion des triatomines pouvant causer la maladie de Chagas.

Il a également été choisi de se concentrer sur les aspects environnementaux et sociaux entourant la durabilité de l'intervention étudiée, sans toutefois approfondir les contraintes et retombées économiques qui lui sont associées (Fig. 2), en raison de l'horizon de temps restreint du projet et du jeune âge des systèmes implantés. Or, l'analyse des dimensions économiques est indispensable pour une évaluation globale de la durabilité de tels projets, et il serait pertinent de les aborder plus spécifiquement lors d'une étude subséquente. En outre, une caractérisation plus poussée du contexte socioéconomique, culturel, historique et politique régional permettrait également de

mettre en lumière des éléments additionnels pouvant influencer la pérennité de telles interventions.

Fig. 2 : Dimensions sociale, environnementale et économique de la durabilité des projets d'intervention



5.3. Orientations pour favoriser le succès et la pérennité des projets

Des milliers de familles en Amazonie sont directement concernées par les effets négatifs sur l'environnement et sur la santé (Bausch et coll., 2015) de même que par la précarité et l'insécurité alimentaire qui sont associées à l'usage du brûlis (Altieri et Nicholls, 2012). Cet état de fait justifie la nécessité d'expérimenter des modes de production alternatifs pouvant améliorer la qualité de vie des populations rurales. Cette thèse montre toutefois que l'adoption et la diffusion de pratiques d'agroécologie peuvent s'avérer complexes en raison de plusieurs contraintes environnementales, économiques et sociales (Long et Nair, 1999). Les apprentissages issus de cette étude représentent donc des contributions pertinentes dépassant les limites du projet étudié et de la région dans laquelle il a été réalisé.

À la lumière des résultats de cette thèse, plusieurs pistes peuvent être privilégiées pour favoriser le succès et la pérennité de projets d'agroécologie implantés dans un contexte rudimentaire et de subsistance. Parmi celles-ci, notons les orientations suivantes :

- Valoriser l'inclusion d'espèces indigènes adaptées aux conditions locales, tout en favorisant des espèces appréciées par les populations participantes ;
- Privilégier des espèces résistantes aux variabilités et peu vulnérables aux adversités (telles que la prédation, la compétition, la sécheresse, etc.) ;
- Porter une attention particulière aux phases préliminaires suivant l'implantation des systèmes, et assurer un soutien technique aux familles participantes spécialement lors de cette période cruciale ;
- Évaluer la possibilité de mettre en place un système de suivi, d'accompagnement technique et d'échange de connaissances pour favoriser un développement optimal des systèmes ainsi que la diffusion des pratiques ;
- Assurer l'équilibre entre une maintenance suffisante des sites (afin de réduire la compétition inter-plantes) et le maintien d'une couverture végétale au sol (contribuant à la réduction de l'érosion et à la rétention du Hg) ;
- Prendre en compte dans la conception des systèmes la question de l'horizon de temps ainsi que la nécessité de production à court terme des familles d'agriculteurs, et intégrer dans les systèmes des espèces de cycle court pouvant amener des retombées rapides pour les participants ;
- Créer des espaces d'échanges et de rétroactions avec les participants, le plus tôt possible au début de l'intervention, afin d'identifier les points d'intérêt et les objectifs communs entre les différentes parties ;
- Privilégier des méthodes flexibles qui permettent l'imbrication des différents savoirs complémentaires tout au long de l'intervention ;
- Renforcer les relations avec les organismes d'extension rurale régionaux pouvant offrir un soutien régulier aux agriculteurs au cours et à la suite du projet ;
- Adopter une approche adaptative et itérative facilitant l'appréhension des défis pouvant survenir dans un contexte dynamique et de subsistance.

Certaines de ces orientations découlent directement des résultats de la présente thèse alors que d'autres ont émergé des réflexions plus larges ayant accompagné la réalisation de cette étude. Ces recommandations ne se prétendent pas absolues ni exclusives, et d'autres pistes pourraient également être envisagées pour favoriser le succès et l'appropriation des projets d'agroécologie dans les communautés rurales de l'Amazonie.

5.4. Dernières considérations

Aux yeux de l'auteure de cette thèse et suite à ses années d'expériences de terrain ayant permis le développement d'une bonne connaissance de la réalité régionale, il est essentiel de souligner que l'agroécologie ne constitue pas une avenue unique pouvant substituer les cultures de cycle court sur brûlis, mais doit plutôt être considérée parmi une diversité d'autres options existant dans un éventail de possibilités pouvant contribuer au bien-être des populations locales tout en réduisant les impacts de la petite agriculture sur l'environnement. La promotion de l'agroécologie devrait effectivement s'inscrire dans une logique de diversification de pratiques visant un usage durable des ressources du territoire amazonien et l'amélioration de la qualité de vie de ses habitants. Malgré ses nombreux avantages, l'adoption de pratiques d'agroécologie peut toutefois représenter un défi pour les populations locales. Il serait difficilement imaginable, considérant la marge de manœuvre limitée des familles vivant de la terre, le peu de ressources de même que le faible accès au soutien technique dans les régions rurales, d'assister actuellement à un virage substantiel vers un modèle agricole évitant totalement l'usage du brûlis. Or, tout pas vers des pratiques inspirées des principes de l'agroécologie, favorisant par exemple une mixité d'espèces ayant des productions à différents horizons de temps, le maintien d'un couvert végétal, l'inclusion d'arbres ayant des impacts positifs pour la conservation des sols, ou encore, l'usage de l'engrais vert, sont à encourager.

Cette étude a confirmé la pertinence des projets d'intervention participatifs et interdisciplinaires qui soutiennent les petits agriculteurs dans leurs efforts vers une agriculture plus durable. Cependant, la distance entre les réalités des populations locales et de la recherche, de même que la difficulté de concilier les priorités et les objectifs des deux parties ont également été mises en lumière. Un changement de vision à une échelle plus large est donc souhaitable, en particulier en ce qui concerne les orientations stratégiques de la recherche et son financement, afin de favoriser le développement de projets privilégiant une approche horizontale permettant d'aborder les défis et les avantages de l'adoption de pratiques d'agroécologie en collaboration les populations locales. L'étude fait ressortir la nécessité de donner davantage de flexibilité et d'appui aux organismes et équipes de recherche et d'intervention, et de diminuer les contraintes à la réalisation de telles entreprises, afin de faciliter la conception et la mise en œuvre de projets à moyen et long termes correspondant pleinement aux réalités locales et répondant aux besoins des communautés rurales en situation de subsistance.

Références

- Altieri, M.A. et Nicholls, C.I. (2012). Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency. In *Sustainable Agriculture Reviews*, vol. 11, Lichtfouse (Ed.), p. 1-29, Springer.
- Altieri, M.A et Toledo, V.M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies*, 38 (3) : 587-612.
- Bauch, S.C., Birkenbach, A.M., Pattanayak, S.K. et Sills, E.O. (2015). Public health impacts of ecosystem change in the Brazilian Amazon. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (24) : 7414 -7419.
- Chapin, F.S. (1980). *The Mineral Nutrition of Wild Plants*. 3rd edition. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11: 233-260.
- Charrier, A., Jacquot, M., Hamon, S. et Nicolas, D. (1997). *L'amélioration des plantes tropicales*. Repères, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) et Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom), 625 p.
- Lemessa, D, Hylander, K. et Hambäck, P. (2013). Composition of crops and land-use types in relation to crop raiding pattern at different distances from forests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 167 : 71-78.
- Long, A.J. et Nair, P.K.R. (1999). Trees outside forests: agro-, community, and urban forestry. *New Forests*, 17 : 145-174.
- Mahar, D.J. (1989). *Government policies and deforestation in Brazil's Amazon region*. The World Bank, Washington, (D.C.), 56 p.
- Marengo, J.A., Borma, L.S., Rodriguez, D.A., Pinho, P.S, Wagner, RA. et Lincoln, M. (2013). Recent Extremes of drought and flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptations. *American Journal of Climate Change*. 2 : 87-96.
- Margulis, S. (2004). *Causes of Deforestation of the Brazilian Amazon*. World Bank Working Paper no 22, Washington, DC, 77 p.
- PLUPH. (2016). Site web du projet *Poor Land Use, Poor Health*. www.pluph.uqam.ca.

- Tremblay, S., Lucotte, M., Reveret, J.-P., Davidson, R., Mertens, F., Passos, C.J. et Romana, C.A (2015). Agroforestry systems as a profitable alternative to slash and burn practices in small-scale agriculture of the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, 89 (2) : 193-204.
- Vitousek, P.M. et Sanford, R.L. (1986). Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17 : 137-167.

ANNEXES

ANNEXE A

PHOTOS DES COMMUNAUNAUTÉS PARTICIPANTES

A. a) Araipá



A. b) São Tomé



A. c) Nova Estrela



ANNEXE B

APERÇU DES SYSTÈMES IMPLANTÉS

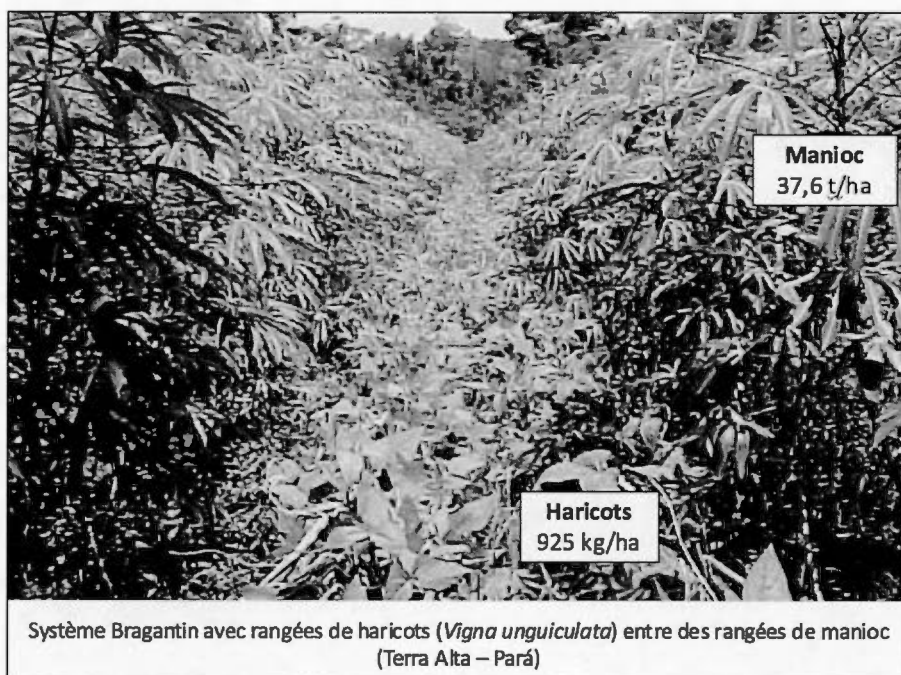
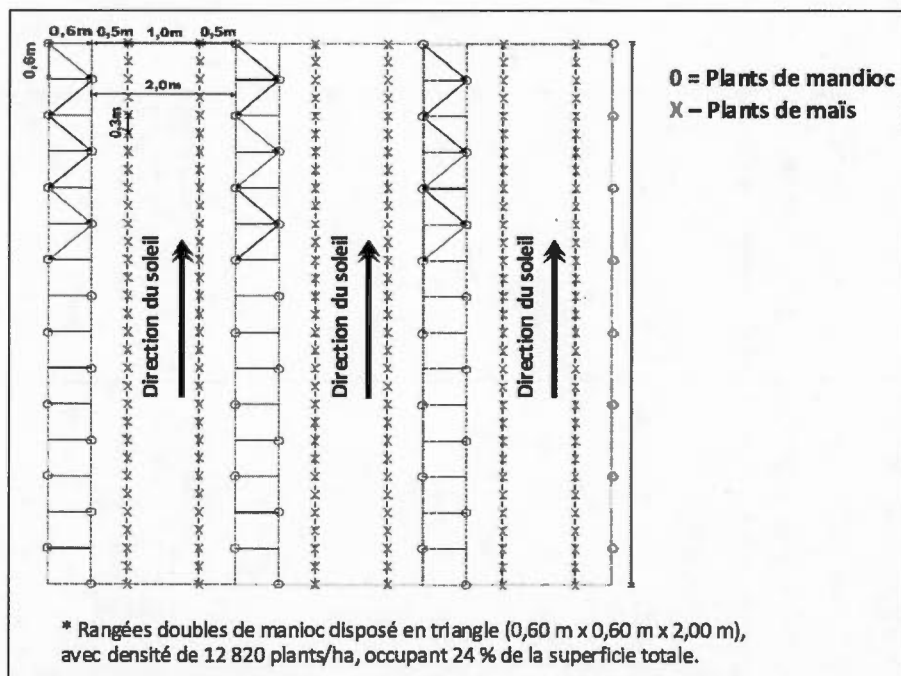
B. a) Portion du plan du consortium fruitier (CF)

Verger d'arbres fruitiers développé sur 100m x 100m - 1 ha									
*	Y	A	*	Y	Y	A			
Y	B	Y	B	*	B	*			*
*	*	*	Y	Y	*	Y			Y
Y	B	Y	B	*	B	*			*
*	Y	A	*	Y	Y	A			A
Y	B	*	B	5 m	B	Y			Y
*	*	Y	Y	5 m	Y	*			*
Y	B	*	B	*	B	Y			Y
*	Y	A	*	Y	Y	A			A
Y	B	Y	B	10 m	B	*			*
*	*	*	Y	Y	*	Y			Y
Y	B	Y	B	Y	B	*			*
*	Y	A	*	Y	Y	A			A
Y	B	Y	B	Y	B	*			*
*	*	*	Y	Y	*	Y			Y
Y	B	Y	B	*	B	*			*
*	Y	A	*	Y	Y	A			A
10 x 10 m	110 plants	55 manguier (A)	55 manguier (A)	55 manguier (A)	55 manguier (A)	55 manguier (A)			
5 x 5 m	400 plants	100 araçá-boi (B)	100 araçá-boi (B)	100 araçá-boi (B)	100 araçá-boi (B)	100 araçá-boi (B)			
2.5 x 2.5 m	1171 talles	585 açai (*)	585 açai (*)	585 açai (*)	585 açai (*)	585 açai (*)			
Cycle court	100 ananas								
Engrais vert	2000 Inga-de-metro autour du lot								

B. b) Portion du plan du système multi-usages (MU)

Modèle agroforestier développé sur 100m x 100m - 1 ha									
*	Y	A	*	Y	Y	A			
Y	B	Y	B	*	B	*			
*	*	*	Y	Y	*	Y			
Y	→ 2.5 m	Y	B	*	B	*			
*	Y	A	*	Y	Y	A			
Y	B	→ 5 m	B	*	B	Y			
*	*	Y	Y	Y	*	*			
Y	B	*	B	*	B	Y			
*	Y	A	→ 10 m	Y	Y	A			
Y	B	Y	B	*	B	*			
*	*	*	Y	Y	*	Y			
Y	B	Y	B	*	B	*			
*	Y	A	*	Y	Y	A			
<div><div><div>10 x 10 m 5 x 5 m 2.5 x 2.5 m Cycle court Engrais vert</div><div>110 plants 400 plants 1171 talles 100 ananas 2000 Inga-de-metro autour du lot</div><div>50 noix du Brésil (A) 100 araçá-boi (B) 585 açaí (*)</div><div>30 andiroba (A) 100 oranger (B) 586 banane plantain (Y)</div><div>30 manguiier (A) 200 acerola (B)</div></div></div>									

B. c) Exemples de systèmes Bragantin (BR)



ANNEXE C

PHOTOS DES SYSTÈMES IMPLANTÉS

C.1. Implantation et développement des systèmes

C.1. a) Conception des systèmes

Ces photos montrent différentes activités participatives réalisées avec les communautés participant au projet d'intervention lors de l'étape de la conception des systèmes agroécologiques. Les trois premières photos ainsi que la dernière ont été prises lors de réunions communautaires au début du projet. Les deux autres photos montrent un atelier où des groupes de participants (ici, les femmes des communautés) ont été amenés à exprimer par le dessin leur vision de l'utilisation du territoire dans leur village. Cette activité a fait partie du processus ayant mené au choix des familles allant bénéficier des systèmes et des sites d'implantation.







C.1. b) Préparation et transport des semis



C.1. c) Préparation des sites

C.1. d) Plantation des espèces sélectionnées



C.1. e) Application d'engrais vert



C.1. f) Système agroforestier de 2 ans



C.1. g) Système agroforestier de 5 ans



C.1. h) Système agroforestier de 6 ans



C.2. Espèces plantées**C.2. a) Noix du Brésil de 2 ans****C.2. b) Andiroba de 6 ans****C.2. c) Manguier récemment planté****C.2. d) Oranger de 6 ans**

C.2. e) Ananas



C.2. f) Corossolier



**** Photo de droite, arbre affecté par l'insecte perceur (*Cratosomus bombina*)**

C.2. g) Acérola



C.2. h) Palmier d'açaí de 1 an



C.2. i) Araza récemment planté



C.2. j) Araza de 3 ans



C.2. k) Fruit de l'araza



C.2. l) Bananier récemment planté



C.2. m) Bananiers d'un an et demi



ANNEXE D

PHOTOS DES ACTIVITÉS D'ÉCHANTILLONNAGE

D.1. Collectes de données quantitatives

D.1. a) Collectes de sols



D.1. b) Mesures de la survie et de la croissance des plantes



D.1. c) Collectes d'eau de ruissellement dans un système agroforestier



D.1. d) Dispositif d'étude de l'érosion dans un système agroforestier



D.1. e) Collecte d'eau de ruissellement dans un champ de cycle court

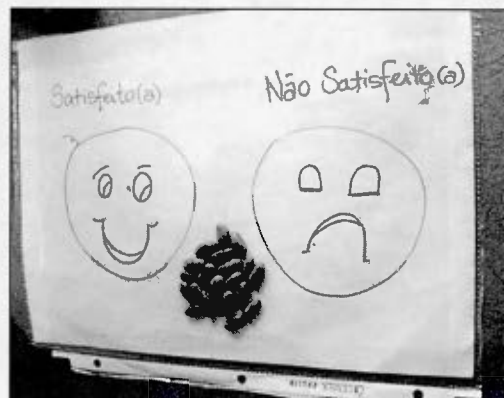
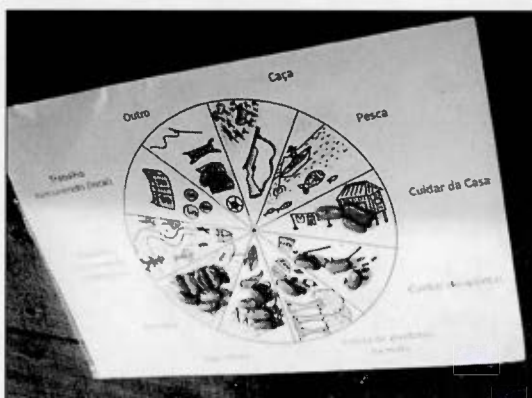


D.2. Collectes de données qualitatives

D.2. a) Application d'un questionnaire



D.2. b) Outils de collecte de données sociales



D.2. c) Groupes de discussion avec des communautés participantes

Ces photos montrent les groupes de discussion inspirés de la méthodologie de la ligne du temps visant à connaître l'histoire des communautés d'étude, de même que l'évolution de l'usage du territoire par les populations locales depuis l'origine des villages. Les deux dernières photos montrent des activités ayant été réalisées parallèlement aux groupes de discussion avec les enfants des communautés. Celles-ci visaient d'un côté à dégager les femmes afin de leur permettre de participer aux groupes de discussion, et également à amener les enfants à exprimer leur vision quant à l'état actuel et futur de leur environnement.





ANNEXE E

MATÉRIEL DE COLLECTE DE DONNÉES SOCIALES

E.1. Questionnaire complet appliqué en 2011

Questionário PLUPH Social 2011 – Comunidade:	
IDI:	Se sem IDI, criar aqui:
Nome Entrevistado:	Apelido:
Entrevistador:	Data :
Coordenadas Casa:	
UTM X	
UTM Y	

1. Dados socio-demográficos

1.1. Família, Composição (Confirmação dos membros; S significa sim e N significa "Não").

Preencher antes de fazer a entrevista e confirmar com a dona/dono da casa) (Mulher) (A família significa todas as pessoas que moram na mesma casa)

Nome + IDI	Sexo (M/F)	Ano de Nasc.	Frequenta a escola? (S/N)
------------	------------	--------------	------------------------------

2. MODOS DE VIDA E EMPREGO:

ATIVIDADES GERAIS

METODOLOGIA DAS SEMENTES (OU PEDRAS)

(Serão distribuídas 20 sementes de feijão e uma gravura com as atividades abaixo descritas. O entrevistado deverá distribuir os feijões (somente os 20) nas atividades colocando mais feijões nas atividades que tomam mais tempo na sua vida normal. O entrevistador deverá colocar o número de feijões correspondentes em cada atividade na gravura).

- *Explicar que trabalho remunerado é aquele em que o trabalhador recebe um salário (em dinheiro).*
- *Trabalho local é aquele em que a pessoa pode voltar pra dormir todos os dias em sua casa na comunidade.*
- *Trabalho migratório é todo trabalho em que a pessoa não tem condições de voltar para dormir em sua própria casa na comunidade.*

2.1. Quanto TEMPO VOCÊ passa fazendo essas atividades? (individual) (Se não realiza a atividade, preencher com zero)

Cuidar da casa	Cuidar do quintal	Agricultura
Pecuária	Trabalho remunerado (migratório)	Trabalho remunerado (local)
Pesca	Caça	Coleta de produtos na mata
Outro, qual:		

EMPREGOS E RENDA NA COMUNIDADE (MULHER)

2.2. A renda **da família** é formada por empregos

- ☐ Locais (na comunidade). Se local, vá para a questão 2.3.
- ☐ Migratório (fora da comunidade por um longo tempo/se precisa mudar). Se migratório, vá para a questão 2.7

SE LOCAL

- 2.3. No último ano, a renda **da família** foi formada por quais atividades?
 2.4. Qual é a renda dessas atividades/quanto ganha por ano/mês?
 2.5. Desde quando a família trabalha nessa atividade?
 2.6. Você vai sempre, de vez em quando, ou é um bico?

2.3. Tipo de emprego	2.4. Salário/Renda (R\$/mês)	2.5. Desde quando (ano)	2.6. Frequência
----------------------	---------------------------------	----------------------------	-----------------

☐ comércio

☐ professor

☐ servidor público (agente de saúde,
barco, etc.):

☐ Outro:

☐ Aposentado

☐ Pescador

Se pescador, recebe auxílio
desemprego na época do defeso?

Sim ☐

Não ☐

SE MIGRATÓRIO (FORA DA COMUNIDADE)

- 2.7. No último ano, a renda **da família** foi formada por quais atividades?
 2.8. Qual é a renda dessas atividades/quanto ganha por mês (ou semana)? (especificar se o valor declarado é por mês ou por semana)
 2.9. Qual a frequência de trabalho para cada atividade? (A frequência deverá ser escrita juntamente com a unidade)
 2.10. O **membro da Família** sempre trabalha nesse período, com essa frequência?
 2.11. Onde é o local de trabalho?
 2.12. Desde quando a família trabalha nessa atividade?

2.7. Tipo de emprego	2.8. Salário/Renda (R\$/mês)	2.9. Frequência	2.10. É sempre assim?	2.11. Onde trabalha?	2.12. Desde quando (ano)
----------------------	------------------------------	-----------------	-----------------------	----------------------	--------------------------

Mineração

Sim ☐ Não ☐
Se não, que frequência é normal:

Madeireiras

Sim ☐ Não ☐
Se não, que frequência é normal:

Cidade (comercio, construção)

Sim ☐ Não ☐
Se não, que frequência é normal:

Outro:

Sim ☐ Não ☐
Se não, que frequência é normal:

2.13. A família recebe algum apoio de um parente na cidade?

Sim ☐ Não ☐

Se sim, no ultimo ano, quanto recebeu?

3. Associativismo (individual)

3.1. Você participa de Alguma Associação, Grupo, Conselho? Sim ☐ Não ☐

3.2 Se Sim, Qual(is)?	3.3. Qual é a sua participação? Membro/Associado (A) Cargo Formal (F)	3.4. Como é a sua participação nas reuniões? Todas (T); a maioria (M); algumas (A); Nenhuma (N)
-----------------------	---	--

3.5. Você frequenta alguma Igreja? Sim ☐ Não ☐ (individual)

3.6. Qual? (Caso seja evangélica, escrever o nome da igreja) Católica <input type="checkbox"/> Adventista <input type="checkbox"/> Evangélica <input type="checkbox"/> Outras <input type="checkbox"/> Qual? Qual?	3.7. Com que frequência você vai à igreja? <input type="checkbox"/> menos de 1 vez por mês <input type="checkbox"/> 1 vez por semana <input type="checkbox"/> mais de 1 vez por mês <input type="checkbox"/> mais de 1 vez por semana
--	---

4. Propriedade Rural (Homem)

4.1. A família tem um lote? Sim ☐ Não ☐

(o lote significa a propriedade rural completa, com a área de plantio, casa, mata, capoeira). (A família significa todas as pessoas que moram na mesma casa; e Lote principal significa o lote mais usado) (1 hectare = 4 terefas)

4.2. Quantos lotes tem?

DETALHES DOS LOTES	lote principal	outro	outro
4.3. Qual é o tamanho? (colocar a unidade)			
4.4. Há quantos anos vocês ocupam o lote?			
4.5. Em que ano você começou a roçar o lote?			
4.6. Se os lotes são terra própria, como é o título das propriedades?	Sem título <input type="checkbox"/> Definitivo, em seu nome <input type="checkbox"/> Definitivo em nome de algum familiar <input type="checkbox"/> Com título em nome outro <input type="checkbox"/> nome: Título recebido por meio de compra dado pelo antigo dono <input type="checkbox"/> nome antigo dono:	Sem título <input type="checkbox"/> Definitivo, em seu nome <input type="checkbox"/> Definitivo em nome de algum familiar <input type="checkbox"/> Com título em nome outro <input type="checkbox"/> nome: Título recebido por meio de compra dado pelo antigo dono <input type="checkbox"/> nome antigo dono:	Sem título <input type="checkbox"/> Definitivo, em seu nome <input type="checkbox"/> Definitivo em nome de algum familiar <input type="checkbox"/> Com título em nome outro <input type="checkbox"/> nome: Título recebido por meio de compra dado pelo antigo dono <input type="checkbox"/> nome antigo dono:
4.7. Se tem título, em ano que foi emitido?			
4.8. Onde fica o lote (nome da comunidade/cidade)?			

4.9. A família usa a terra dos outros para cultivo ou pastagem? Sim ☐ Não ☐

4.10. Se sim, a terra é de quem (*colocar nome +ID*)?

4.11. Qual é a sua relação com esta pessoa?

4.12. E o que você dá em troca por poder usar a terra do outro/ou qual é o acordo de vocês?

5. Descrição do lote principal da família (Homem)

<p>Desenho do lote principal da família com distribuição espacial dos diferentes modos de utilização atual, os elementos seguintes devem ser abordados. (Pode dar uma <i>pagina branca</i> ao agricultor para que ele <i>desenhe</i> ou o <i>entrevistador</i> pode <i>desenhar</i> com as indicações do agricultor)</p> <p>5.1. Tipos de uso (<i>roça, capoeira, pastagem, mata</i>) e idade de cada tipo. Identificar a roça atual da família.</p> <p>5.2. Tamanho dos tipos de utilização (<i>unidades: ha, linhas, braços</i>)</p> <p>5.3. Tipo de solos (<i>escrever em geral o tipo de solo - arenoso, barro vermelho/terra roxa, barro amarelo, terra preta associado com cada uso</i>)</p> <p>5.4 Outras informações gerais do lote: casa, criação de animais, estrada, rio, lago, igarapé, casa de farinha</p> <p>5.6. Em geral, quais são as razões pelas quais você decidiu de cultivar aqui (<i>referente ao desenho feito</i>) e não em outro lugar em seu lote? (<i>nesta questão as respostas não deverão ser citadas ao entrevistado</i>).</p> <p>tipo de terra <input type="checkbox"/> declive <input type="checkbox"/> distancia da casa <input type="checkbox"/> problema com vizinhos/animais <input type="checkbox"/></p> <p>idade da mata: capoeirinha <input type="checkbox"/> capoeirão <input type="checkbox"/> mata bruta <input type="checkbox"/> outro: _____</p>
--

Instruções do desenho

- Os tipos de uso deverão ser escritos no desenho;
- As seguintes legendas deverão ser utilizadas no desenho:

1) Roça atual ●

2) Escrever os Tipos de Solos:

Solo arenoso
Barro amarelo

Barro vermelho/terra roxa
Terra preta

3) Indicar o nome dos vizinhos (esquerda, direita, frente e atrás)

DESENHO DO LOTE

6. Produção agrícola familiar (Homem)

Gostaria de saber mais sobre a produção da família. E só roçado ou a família produz algo também no quintal? Sim ☐ Não ☐

6.1. Qual a quantidade de cada produto a família tem produzido desde o começo da última estação da chuva? Não essa estação de chuva de agora (que iniciou em out/Nov 2010), mas a anterior? (*família significa todas as pessoas que moram na mesma casa*).

6.2. Sempre produz essa mesma quantidade? Se não, como é a sua produção normalmente? (*Completar a tabela para cada lote, mesmo se a família usa o lote de outra pessoa para roçar, referir as respostas das perguntas 4.1. e 4.10.*) (*Anotar todas as variedades que plantaram. Para a produção, anotar a quantidade e a unidade, não é necessário saber a produção de cada variedade*).

Nome da variedade	6.1. Quantidade produzida			6.2. É sempre assim/é comum?
	Lote 1 (Principal)	Lote 2(ou lote de outro)	Lote 3 (ou lote de outro)	
Arroz 1) 2)				Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se não, que quantidade produz em geral:
Mandioca (maniva) 1) 2)				Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se não, que quantidade produz em geral:
Farinha 1) 2)				Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se não, que quantidade produz em geral:
Milho 1) 2)				Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se não, que quantidade produz em geral:
Feijão 1) 2)				Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se não, que quantidade produz em geral:
Banana (em cachos) 1) 2)				Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se não, que quantidade produz em geral:
Outro				Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se não, que quantidade produz em geral:

6.3. Do total produzido, quanto foi vendido desde o começo da última estação da chuva? Não essa estação de chuva de agora (que iniciou em out/Nov 2010), mas a anterior?

6.4. Qual o valor total arrecadado para cada produto em todo ano? (É a soma das vendas feitas para a quantidade total vendida).

6.5. A maior parte dos produtos, onde a família vende?

6.6. A maioria do tempo, é por que meio? *(Insistir em verificar se a venda é direta mesmo. Às vezes o agricultor fala que é direto, mas vende por meio de atravessador mas não menciona).*

	6.3. Quantidade vendida	6.4. Valor total arrecadado com a venda no ano (R\$)	6.5. A maior parte, onde vende	6.6. A maioria do tempo, por que meio
Arroz			Cidade <input type="checkbox"/> Qual: Na comunidade mesmo <input type="checkbox"/> Outra comunidade <input type="checkbox"/> Qual:	Atravessador (barco) <input type="checkbox"/> Atravessador (estrada) <input type="checkbox"/> Direto <input type="checkbox"/> Atravessador (barco) <input type="checkbox"/>
Mandioca			Cidade <input type="checkbox"/> Qual: Na comunidade mesmo <input type="checkbox"/> Outra comunidade <input type="checkbox"/> Qual:	Atravessador (barco) <input type="checkbox"/> Atravessador (estrada) <input type="checkbox"/> Direto <input type="checkbox"/> Atravessador (barco) <input type="checkbox"/>
Farinha			Cidade <input type="checkbox"/> Qual: Na comunidade mesmo <input type="checkbox"/> Outra comunidade <input type="checkbox"/> Qual:	Atravessador (barco) <input type="checkbox"/> Atravessador (estrada) <input type="checkbox"/> Direto <input type="checkbox"/> Atravessador (barco) <input type="checkbox"/>
Milho			Cidade <input type="checkbox"/> Qual: Na comunidade mesmo <input type="checkbox"/> Outra comunidade <input type="checkbox"/> Qual:	Atravessador (barco) <input type="checkbox"/> Atravessador (estrada) <input type="checkbox"/> Direto <input type="checkbox"/> Atravessador (barco) <input type="checkbox"/>
Feijão			Cidade <input type="checkbox"/> Qual:	Atravessador (barco) <input type="checkbox"/>

			Na comunidade mesmo <input type="checkbox"/> Outra comunidade <input type="checkbox"/> Qual:	Atravessador (estrada) <input type="checkbox"/> Direto <input type="checkbox"/>
Banana			Cidade <input type="checkbox"/> Qual: Na comunidade mesmo <input type="checkbox"/> Outra comunidade <input type="checkbox"/> Qual:	
Outro			Cidade <input type="checkbox"/> Qual: Na comunidade mesmo <input type="checkbox"/> Outra comunidade <input type="checkbox"/> Qual:	

6. Produção agrícola familiar e relação com o consumo (Mulher)

A família faz agricultura? Sim ☐ Não ☐

E só roçado ou a família produz algo também no quintal? Sim ☐ Não ☐

Dos produtos produzidos pela família (*referir à tabela anterior*):

6.7. Que quantidade de cada produto você acredita ter comprado para o consumo **em família** desde o começo da última estação da chuva? Não essa estação de chuva de agora (que iniciou em out/Nov 2010), mas a anterior?

6.8. Qual o valor pago para a quantidade comprada de cada produto?
(SEMPRE ESCREVER A UNIDADE)

Produto	6.7. Quantidade comprada para consumo familiar	6.8. Preço (R\$/unidade)
Arroz		
Farinha		
Milho		
Feijão		
Banana		
Outro		

6. Quantidade comprada para produzir HOMEN

Dos produtos produzidos que você já mencionou (*referir á tabela anterior*):

6.9. Que quantidade de cada produto você acredita ter comprado para produzir **em família** desde o começo da última estação da chuva? Não essa estação de chuva de agora (que iniciou em out/Nov 2010), mas a anterior?

6.10. Qual o valor de compra de cada um dos produtos?

	6.9. Quantidade comprada para produzir (para plantar)	6.10. Preço da compra (R\$/unid)
Arroz		
Macaxeira		
Farinha		
Milho		
Feijão		
Banana		
Outro		

7. Trabalho na roça (Se o trabalho principal do entrevistado NÃO FOR agricultura, ir para a questão 10.)

7.1. Para finalizar um trabalho completo na roça, quantos dias demora normalmente para ..? (*nomear cada etapa na tabela*) (Homem)

7.2. Quantas pessoas ajudam você para cada uma das atividades? (Homem)
(*Se não realiza alguma das etapas abaixo, colocar zero nas 3 colunas*)

Dias de trabalho	Dias (n°) para o dono (colocar a unidade da área, como linha p.e.)	Dias (n°) com ajudante	Ajudantes (n°)
------------------	--	------------------------	----------------

Brocar e derrubar a capoeira ou mata e queima

Aubar / Plantar / Capinar / Colher / Processar, transformar

7.3. Lembre quem trabalhou (*troca de trabalho e trabalho remunerado*) na roça da **família** no último ano (ou seja, desde o começo da última estação de chuva? Não essa estação de chuva de agora (que iniciou em out/Nov 2010), mas a anterior? (Homem)

Quem? (Nome ou apelido + IDI) Vizinho (V), Parente (P), Empregado (E), Amigo (A)	Esta pessoa sempre trabalhou com você? Ou foi somente uma vez?	Meio de pagamento Pagamento R\$ (P) ou Troca de Diária (D)
--	--	---

7.4. Lembre quem trabalhou (*troca de trabalho e trabalho remunerado*) com a **família** para fazer farinha no último ano (ou seja, desde o início da última estação de chuva)? (Homem)

Quem? (Nome ou apelido + IDI) Vizinho (V), Parente (P), Empregado (E), Amigo (A)	Esta pessoa sempre trabalhou com você? Ou foi somente uma vez?	Meio de pagamento Pagamento R\$ (P) ou Troca de Diária (D)
--	--	---

8. FERRAMENTAS, PRÁTICAS E MÉTODOS DE TRABALHO (Homem)

8.1. Quais equipamentos (mecanizados) vocês (na família) utilizam no roçado?	S/N	8.2. Há quantos anos usa?	8.3. É sua (S/N)?	8.4. É de quem (Nome ou apelido + IDI) (especificar também se + de uma pessoa)
Motosserra				
Roçadeira (a gasolina)				
Outro:				
Outro:				

8.5. Você utiliza fogo para fazer seu roçado? Sim ☐ Não ☐

8.6. O que vocês fazem para manter a força do solo?	S/N	8.7. Há quantos anos usa?	8.8. Que produto usa?	8.9. Que quantidade comprou desde o início da última estação da chuva? (colocar unidade: Kg, sacos, litros..)
Fertilizantes químicos				
Outra técnica:				

8.10. O que vocês fazem para controlar as pragas? (insistir para que o entrevistado fale de outra técnica que ele possa usar para diminuir ou acabar com pragas)	S/N	8.11. Há quantos anos usa?	8.12. Que produto usa?	8.13. Que quantidade comprou desde o início da última estação da chuva? (colocar a unidade se Kg, sacos, litros..)
Inseticidas, fungicidas, pesticidas químicas				
Outra técnica:				

9. EXPERIMENTAÇÕES E MUDANÇAS AGRÍCOLAS (INDIVIDUAL)

(Se o trabalho principal do entrevistado NÃO FOR agricultura, ir para a questão 10.):

9.1. Você já fez algo diferente no seu roçado ou sempre faz da mesma maneira? (o entrevistador deverá falar de cada opção de práticas ao entrevistado para as questões 9.5 a 9.8):

Práticas	9.1. Já experimentou?	9.2. Se não, gostaria de fazer?	9.3. Descrição do que foi feito e resultados	9.4. continua ainda hoje	9.5. Se não, Por que ?
Plantar mandioca, arroz, feijão ou milho em conjunto com arvóres ou outros tipos de plantas (por exemplo, mandioca entre diferente tipo de arvóres)?	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se sim, Quando?	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	
Trocar plantas que você usa habitualmente para novas variedades (ex : feijão de leite, etc).	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se sim, Quando?	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	
Organizar seu roçado (Plantar em linhas, com menor espaçamento entre plantas, com cultivos alternados...)	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se sim, Quando?	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	
Adubar o solo com plantas (p.e. plantar leguminosas e deixar partes da planta no solo)	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Se sim, Quando?	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	

9.6. Você fez alguma outra coisa nova, diferente na sua maneira de roçar ou produzir nos últimos anos? Sim ☐ Não ☐
 (caso o comunitário faça referência ao projeto PLUPH, explicar que não necessariamente as formas de cultivar do projeto mas perguntar de qualquer mudança que eles fizeram, qualquer coisa diferente que eles fizeram).

(Nesta questão, não aceitar o primeiro não como resposta, explicar a pergunta e insistir com o entrevistado perguntando: Mas você não mudou nada na sua roça? Não fez nada de diferente, sempre faz tudo igual todos os anos?)

Prática	9.7. Descrição do que foi feito e resultados	9.8. continua ainda hoje ? Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	9.9. Se não continua, por que?
		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	
		Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	

9.10. E de onde veio estas idéias de fazer algo diferente na roça ou no quintal? (Se o comunitário citar o nome de alguém, colocar o IDI ou referência da pessoa)

9.11. Se você não fez nada diferente, por que não fez?

10. Trocas de sementes, mudas e plantas (gerais e também medicinais) (Individual)

- 10.1. De quem buscou e obteve mudas, sementes ou plantas de remédio (plantas medicinais) aqui na comunidade?
- (A pergunta deve ter uma cadência de conversa, começando com *de quem buscou e listar as plantas e todas as demais questões associadas, isto é, deve completar toda a linha para aquela pessoa citada. E por que você escolhe ele para te fornecer essas plantas e não outra pessoa na comunidade? E como é o acordo entre vocês? Ela te dá a planta ou você dá algo em troca?*)
- 10.2. Quais plantas buscou? (especificar o tipo, p.e., mandioca – preta, feijão – de leite)?
- 10.3. Sempre quando precisa, busca essa planta com essa pessoa? (essa questão é para identificar se a pessoa citada é a principal fonte de fornecimento de sementes/mudas/plantas para a pessoa entrevistada, ou se é somente pontual).
- 10.4. Por que buscou com essa pessoa?
- 10.5. Por que meio obteve? Dado (D), Compra (C)

10.1. De quem buscou? (nome/apelido+ IDI)	10.2. Quais plantas (<u>variedade</u>) ?	10.3. Sempre quando você precisa destas plantas, pega com essa mesma pessoa? ou foi só uma vez?	10.4. Por que buscou com essa pessoa e não com outra?	10.5. Por que meio?
--	---	---	---	---------------------

- 10.6. Você já buscou mudas e/ou sementes fora daqui da comunidade? Sim ☐ Não ☐
- 10.7. Quais plantas buscou? (quais plantas deve ser descrita a variedade. Não somente feijão, mas p.e. feijão de leite;
- 10.8. De quem você buscou essas plantas? De onde é a pessoa de quem buscou? (de quem buscou pode ser pessoa de outra comunidade ou um projeto, instituição, programa)
- 10.9. Sempre quando você precisa destas plantas, pega com essa mesma pessoa? Ou foi só uma vez? (pessoa/projeto/instituição...)?
- 10.10. Deu algo em troca? Se sim, o que? Dado (D), Compra (C)

10.6. De quem buscou? (nome/apelido+ IDI)	10.7. Quais plantas (<u>variedad</u>)?	10.8. Nome da comunidade ou da Instituição/projeto/programa	10.9. Sempre quando você precisa destas plantas, pega com essa mesma pessoa? Ou foi só uma vez?	10.10. Deu algo em troca (S/N)? O que?
--	---	---	---	--

11.1. A família têm gado (Se não, vai para 11.5)? Sim ☐ Não ☐

11.2. Quantas cabeças têm (a família, seja o total dos gados de todos que moram na mesma casa)?

11.3. Qual é o motivo mais importante para **família** criar gado? (pergunta aberta, não dar as respostas. O ajudante deverá marcar em função da resposta aberta).

Venda ☐ Consumo de carne ☐ Leite ☐ Poupança ☐ Outro: _____

11.4. Se vende, quanto (R\$) ganhou no último ano com a venda de gado?

11.5. Cria outros tipos de animais? (se a família não tem nenhum animal, ou para os animais que não tem, preencher com zero) (Homem)

11.5. Quais?

11.6. A família tem quantos?

11.5. Quais?

11.6. A família tem quantos?

11.7. Vendeu no último ano? (S/N)

Ave

Cavalo

Porco

Cabra

Outro:

Outro:

12. Crédito Para Produção, Suporte Técnico e Capacitação (Homen)

A família já pediu um apoio financeiro ou de outro tipo para realizar sua produção agrícola?

12.1. Pediu?	(A) Sim, pedido do agricultor ou da comunidade/associação (B) Sim, mas iniciativa da prefeitura, ater, ou outra instituição
--------------	---

12.2. Se não, descreva por que jamaiz pediu.

12.3. Qual foi o tipo de apoio financeiro? (1) Crédito Agrícola (2) Empréstimo Pessoal (3) Incentivos (projetos/programas) (4) Outros

12.4. E você recebeu (S/N)?

12.5. Se não, Por que não recebeu?

12.6. De que instituição foi emitido o apoio financeiro? (fonte, p.e., banco)

12.7. Qual o nome do programa/projeto de onde pediu o apoio financeiro?

12.8. Se recebeu, quando recebeu? E se pediu e não recebeu, quando pediu?

12.9. De quanto foi o apoio financeiro? (Pode ser em dinheiro ou material)

(mesmo que a resposta seja não, a tabela deve ser completada)

12.1. Pediu?	12.2. Se não, pq?	12.3. Tipos	12.4. Recebeu	12.5. Se não, por que?	12.6. De que instituição foi emitido	12.7. De qual programa/projeto	12.8. Quando? (ano)	12.9. Quanto (R\$, ou material)?
--------------	-------------------	-------------	---------------	------------------------	--------------------------------------	--------------------------------	---------------------	----------------------------------

12. SUPORTE TÉCNICO E CAPACITAÇÃO (homen e mulher)

A família já pediu algum tipo de Suporte Técnico para roçado, produção ou qualquer outra atividade (você, seus filhos, sua mulher)? *(mesmo que a resposta seja não, a tabela deverá ser completada)*

12.10. Pediu?	(A) Sim, pedido do agricultor ou da comunidade/associação (B) Sim, mas iniciativa da prefeitura, ater, ou outra instituição
---------------	---

12.11. Se não, descreva por que jamais pediu.

12.12. Qual foi o tipo de suporte técnico? (1) Capacitação, Formação (2) Assistência Técnica
--

- 12.13. E você recebeu? (S/N)
 12.14. Se não recebeu, por que não?
 12.15. Qual o assunto ou em que área foi o suporte técnico?
 12.16. Quando foi e qual a duração?
 12.17. Quantas visitas, encontros ou aulas teve durante o curso?
 12.18. Que instituição deu o suporte técnico?
 12.19. Você sabe o nome do técnico que deu o suporte técnico?

12.10. Pediu?	12.11. Se não, pq?	12.12. Tipos	12.13. Recebeu?	12.14. Se não, por que?	12.15. Nome/Assunto	12.16. Quando e duração?	12.17. Frequência	12.18. Nome da instituição/projeto/programa	12.19. Nome do Técnico(s)
---------------	--------------------	--------------	-----------------	-------------------------	---------------------	--------------------------	-------------------	---	---------------------------

13. BOLSAS E ASSISTÊNCIAS SOCIAIS (MULHER)

13.1. A família recebe alguma bolsa do governo? Sim ☐ Não ☐

13.2. Se sim, quais são?

13.3. e quanto ganha por mês?

13.4. quando começou o primeiro pagamento? (colocar o ano do primeiro pagamento do primeiro filho).

13.2. Bolsa	13.3. Quanto é (R\$/mês)	13.4. Quando ?
-------------	--------------------------	----------------

Bolsa família. ☐

Para quantas crianças ?

Bolsa jovem. ☐

Para quantos jovens ?

Bolsa auxílio natalidade ☐

Outras: ☐

14. BOLSAS FLORESTA (INDIVIDUAL)

A bolsa floresta é um programa público para as comunidades rurais que tem como objetivo de preservar uma quantidade definida de mata ou de capoeirão nos lotes particulares ou comunitários. O programa funciona da seguinte maneira: o comunitário se compromete a não cortar uma parte do lote dele em troca de um pagamento mensal. (Falar ao entrevistado que a pergunta é uma suposição, a bolsa não existe no Pará e não há previsão de sua implementação).

14.1. Você já ouviu falar dos programas de bolsa floresta ou de pagamentos para a proteção do meio ambiente que existem no estado do Amazonas e do Acre? Sim ☐ Não ☐

14.2. Se sim, onde ouviu?

☐ Alguém da comunidade

☐ No rádio

☐ Numa reunião (instituição :)

☐ Folhetos (instituição:)

☐ Outros lugares :

14.2. Se você recebesse R\$ 50,00 por mês para preservar uma parte da sua mata, quanto você aceitaria preservar? (em hectares, linhas)

14.3. E você acha que seria melhor que esse pagamento?

Totalmente à família ☐ dividido com a comunidade ☐ Nada em dinheiro, tudo pago em forma de serviços para a comunidade ☐

15. Relações Sociais e Produção (Individual)

(Nas questões de redes e relações sociais, não se deve considerar o primeiro NÃO como resposta definitiva. Deve-se insistir com o entrevistado para falar alguns nomes. Geralmente o não é a primeira resposta. Deve-se insistir em uma conversa como p.e.: Mas não tem ninguém na comunidade que você pode conversar a respeito de questões que são importantes pra você?...)

Troca de informações

- 15.1. Com quem você conversa **aqui na comunidade** sobre assuntos importantes? Qualquer assunto importante para você. (se a pessoa não responder, perguntar: mas o que é importante pra você, na sua vida? Então, sobre isso, com quem você conversa aqui na comunidade?)
- 15.2. Por que você conversa com esta pessoa?

15.1. Nome/ apelido + IDI	15.2. Por que conversa com esta pessoa?
---------------------------	---

Se o trabalho principal do entrevistado NÃO FOR agricultura, ir para a questão 16:

Você troca informações com alguém que você acha importante para fazer seu trabalho de agricultura?

15.3. Na comunidade? Sim ☐ Não ☐

15.4. Com quem conversa?

15.5. Por que conversa com esta pessoa?

15.4. Nome, IDI, Sexo (M/F)	15.5. Por que conversa com esta pessoa?
-----------------------------	---

Você troca informações com alguém que você acha importante para fazer seu trabalho de agricultura?

15.6. Com alguém de outras comunidades? Sim ☐ Não ☐

15.7. Com quem conversa? (Se for alguém dentre as comunidades do PLUPH, São Tomé, Araipá ou Nova Estrela, anotar o IDI também)

15.8. De que comunidade é esta pessoa? Em que comunidade essa pessoa mora?

15.9. Por que conversa com esta pessoa?

15.7. Nome +IDI+ Sexo (M/F)	15.8. Nome comunidade/localização	15.9. Por que conversa com esta pessoa?
-----------------------------	-----------------------------------	---

Você troca informações com alguém que você acha importante para fazer seu trabalho de agricultura?

15.10. Com alguém do governo (municipal, estadual ou federal), ONGs, associações, universidade, empresas?

Sim ☐ Não ☐

15.11. Com quem conversa?

15.12. Essa pessoa trabalha onde (instituição)? Qual é a ocupação desta pessoa (cargo da pessoa na instituição citada)?

15.13. Por que conversa com esta pessoa?

15.11. Nome + Sexo (M/F)	15.12. Instituição/cargo	15.13. Por que conversa com esta pessoa?
--------------------------	--------------------------	--

Você troca informações com alguém a respeito de novas práticas agrícolas para seus cultivos e quintais? (aqui, as novas práticas seriam experimentações ou novas maneiras de plantar / práticas que tentam diminuir o uso do fogo, de produtos químicos, que protegem a fertilidade do solo, que aumentam a diversidade de plantas....)

15.16. Na comunidade? Sim ☐ Não ☐

15.17. Com quem conversa?

15.18. Por que conversa com esta pessoa?

15.19. Você conversa com essa pessoa sobre os plantios do projeto PLUPH?

15.17. Nome + IDI	15.18. Por que conversa com esta pessoa?	15.19. Falam sobre os plantios do PLUPH? (S/N)
-------------------	--	--

15.20. Com alguém de outras comunidades? Sim ☐ Não ☐

15.21. Com quem conversa?

15.22. De que comunidade é esta pessoa? Em que comunidade essa pessoa mora? (Se das comunidades do PLUPH, escrever o IDI)

15.23. Por que conversa com esta pessoa?

15.21. Nome + IDI + Sexo (M/F)	15.22. Nome comunidade/localização	15.23. Por que conversa com esta pessoa?
--------------------------------	------------------------------------	--

15.24. Com alguém do governo (municipal, estadual ou federal), ONGs, associações, universidade, empresas?

Sim ☐ Não ☐

15.25. Com quem conversa?

15.26. Essa pessoa trabalha onde (instituição)? Qual é a ocupação desta pessoa (cargo da pessoa na instituição citada)?

15.27. Por que conversa com esta pessoa?

15.25. Nome + Sexo (M/F)	15.26. Instituição/cargo	15.27. Por que conversa com esta pessoa?
--------------------------	--------------------------	--

16. EXTRATIVISMO DA MATA E DA CAPOEIRA, E DO QUINTAL (INDIVIDUAL)

16.1. Quais produtos **a família** busca na mata e na capoeira?
 Madeira Sim ☐ Não ☐ Animais (caça) Sim ☐ Não ☐
 Produtos de palmeira (Palha, frutos, palmito, etc) Sim ☐ Não ☐ quais palmeiras:

Frutas Sim ☐ Não ☐ quais:

Plantas medicinais Sim ☐ Não ☐ quais:

16.2. Onde a família vai para procurar estes produtos? É em sua própria mata ou na mata de outro?
 Mata própria ☐ Mata de outro ☐
 Se a mata é de outra pessoa, de quem é? Se usa a mata de outras pessoas, há algum acordo para o uso?

16.3. Quais produtos **a família** tem no quintal?

Frutas Sim ☐ Não ☐ quais:

Plantas medicinais Sim ☐ Não ☐ quais:

Outro:

16.4. Você nota mudanças no ambiente natural, p.e. número de peixes pescados, o tamanho dos peixes pescados, a condição da floresta (queimada, desmatamento), a disponibilidade (quantidade) de madeira, frutos ou outros produtos
☐ Sim ☐ Não (Individual)

16.5. Quais são essas mudanças?	16.6. Sabe o por que acontece isso? O por que dessas mudanças?
---------------------------------	--

Se você notar mudanças no ambiente natural, vocêalaria com alguém sobre isso? (p.e. número de peixes pescados, o tamanho dos peixes pescados, a condição da floresta (queimada, desmatamento), a disponibilidade (quantidade) de madeira, frutos ou outros produtos)

16.7. Aqui na comunidade: Sim ☐ Não ☐

Nome + IDI	Por que conversa com esta pessoa?
------------	-----------------------------------

16.8. Com alguém de outras comunidades? Sim ☐ Não ☐

Nome + IDI + Sexo (M/F)	Nome comunidade / localização	Por que conversa com esta pessoa?
-------------------------	----------------------------------	-----------------------------------

16.9. Com alguém do governo (municipal, estadual ou federal), ONGs, Associações, Universidade ou empresas:

Nome + Sexo (M/F)	Instituição/cargo	Por que conversa com esta pessoa?
-------------------	-------------------	-----------------------------------

17. EXTRATIVISMO DO MEIO AQUÁTICO (INDIVIDUAL)

- 17.1. Você pesca? Sim ☐ Não ☐ (se a resposta for não, ir para a pergunta 17.5.)
- 17.2. Por que pesca? (as alternativas não devem ser ditas ao entrevistado)
- venda na comunidade ☐ venda na cidade ☐ venda atravessador ☐ consumo ☐ lazer ☐
troca ☐
- 17.3. Que quantidade **você** pescou no último mês? Kg/mês ou peixes/mes
- 17.4. Onde **você** foi pescar no último mês (as alternativas não devem ser ditas ao entrevistado).
- Tapajós ☐ Lago Araipa ☐ Na Boca ☐ No Paraná ☐ Lago Grande Enseada ☐ Cupu ☐
Igarapé ☐ Outro ☐

TROCA DE PEIXES (MULHER)

- 17.5. Quando a **família** quis ou precisou de peixes, de quem buscou? (Se das comunidades do PLUPH, escrever o IDI, se não, escrever também o nome da comunidade).
- 17.6. Quais peixes buscou desse pessoa?
- 17.7. Sempre quando precisa, busca peixes com essa pessoa? Ou so foi uma vez?
- 17.8. Por que buscou com essa pessoa?
- 17.9. Por que meio obteve? **Dado (D), Compra (C)**

17.5. Nome, IDI e Sexo (M/F)	17.6. Quais peixes ?	17.7. Sempre quando precisa, busca peixes com essa pessoa? Ou so foi uma vez?	17.8. Por que buscou com essa pessoa?	17.9. Por que meio?
------------------------------	----------------------	---	---------------------------------------	---------------------

Nós agora queremos conhecer um pouco mais sobre o seu trabalho como pescador. (se não pesca, ir para a pergunta 18.) (individual)

17.10. Você troca informação com alguém que seja útil para você fazer seu trabalho de pesca?

☐ Sim ☐ Não (com quem você pode conversar sobre o trabalho, os bons lugares pra pescar, as espécies pescadas, o equipamento de pesca, melhor época do ano, melhor horário, etc).

17.11. Com quem conversa? (Se das comunidades do PLUPH, escrever o IDI, se não, escrever também o nome da comunidade).

17.12. Por que você conversa com essa pessoa

17.11. Nome, IDI (ou comunidade) e Sexo (M/F)	17.12. Por que conversa ?
---	---------------------------

17.13. Há alguma(s) pessoa(s) **de quem você depende** para fazer seu trabalho de pesca?

☐ Sim ☐ Não (p.e. alguém de quem você empresta voadeira, malhadeira (redes), alguém que você procura pra pescar com você, etc)

17.14. Você depende de quem? (Se das comunidades do PLUPH, escrever o IDI, se não, escrever também o nome da comunidade).

17.15. Por que você depende dessa pessoa?

17.13. Nome, IDI (ou comunidade) e Sexo (M/F)	17.14. Por que depende desta pessoa?
---	--------------------------------------

17.15. Há alguma(s) pessoa(s) **que depende(m) de você** para fazer o trabalho de pesca dela(s)? ☐ Sim ☐ Não
(p.e. alguém para quem você empresta voadeira, malhadeira (rede), alguém que solicita sua companhia, presença para pescar, etc)

17.16. Quem depende de você? (Se das comunidades do PLUPH, escrever o IDI, se não, escrever também o nome da comunidade).

17.17. Por que esta pessoa depende de você?

17.16. Nome, IDI e Sexo (M/F)	17.17. Por que?
-------------------------------	-----------------

18. SAÚDE - QUALIDADE DE ÁGUA E DIARRÉIA (MULHER)

18. SAÚDE (INDIVIDUAL)

18.1. Onde a família pega a água? (não deve ser falada as alternativas ao entrevistados, somente anotado o que for descrito). (MULHER)

☐ rio ☐ igarapé ☐ poço próprio ☐ poço de outra pessoa, de quem: ☐ outro:

18.2. O que tipo de tratamento de água a família faz? (não deve ser falada as alternativas ao entrevistados, somente anotado o que for descrito).

☐ cloro ☐ filtro ☐ ferver ☐ outros :

18.3. Quais foram os últimos problemas de saúde da comunidade em geral? (insistir um pouco por que ele pode falar de problemas da família primeiro) (Ind)

18.4. E para resolver os problemas de saúde da comunidade (como este(s) que você citou), o que você fez para resolvê-los? E para problemas de acesso e qualidade dos serviços públicos, médicos e medicamentos você fez algo para resolvê-los? (registrar os passos que o entrevistado tem que seguir até resolver um problema de saúde da comunidade. A resposta seria no sentido de verificar se o comunitário se interessa pelos problemas comunitários de saúde e se faz algo a respeito). (Ind)

18.5. Quais foram seus últimos problemas de saúde? (Ind)

18.6. Você teve diarreia nos últimos 6 meses? ☐ Sim ☐ Não (Ind)

Episódios de diarreia na família (<i>A família significa todas as pessoas que moram na mesma casa</i>). MULHER			
18.7. Quem na família teve diarreia nos últimos 6 meses? (Nome + IDI)	18.8. Ficou doente quantos dias?	18.9. buscaram serviço de saúde (S/N) onde foram? Brasília Legal (B), Itaituba (I), Aveiro (A), Santarém (S), outro lugar (O)	18.10. Se não buscaram serviço de saúde, por que não buscaram?

18.11. Que remédio a família usou para tratar esses casos de diarreia? **MULHER**

☐ Plantas medicinais ☐ Medicamentos ☐ Outro:

19. INFORMAÇÕES SOBRE A SAÚDE (INDIVIDUAL)

Sobre as questões de saúde da comunidade (sobre as doenças ou problemas recorrentes na comunidade, acesso e qualidade dos serviços públicos, médicos, medicamentos) você conversa com alguém a respeito?

19.1. **NA COMUNIDADE** Sim ☐ Não ☐

19.2. Nome + IDI + Sexo (M/F)	19.3. Por que conversa com esta pessoa?
-------------------------------	---

Sobre as questões de saúde da comunidade, você conversa com alguém a respeito?

19.4. Com **ALGUÉM DE OUTRA COMUNIDADE**? Sim ☐ Não ☐

19.5. Nome + IDI	19.6. comunidade/localizaç ão	19.7. Por que conversa com esta pessoa?
------------------	----------------------------------	--

19.8. Você **CONVERSA COM ALGUÉM DO GOVERNO (MUNICIPAL, ESTADUAL OU FEDERAL), ONGS, ASSOCIAÇÕES, UNIVERSIDADE, EMPRESAS**, com quem é? Sim ☐ Não ☐

19.9. Nome	19.10. Instituição/cargo	19.11. Por que conversa com esta pessoa?
------------	--------------------------	--

20. QUALIDADE DE VIDA (INDIVIDUAL)

20.1. Você gostaria de continuar a viver aqui na comunidade?

Sim ☐ Não ☐ / Quanto tempo mais você acha que vai viver aqui na comunidade?

20.2. Gostaria que os seus filhos ficassem? Sim ☐ Não ☐

20.3. Mas acredita que seus filhos vão continuar na comunidade e viver da terra? Sim ☐ Não ☐

(Para questões 20.4 a 20.6, utilizar o cartão de satisfação e usar a metodologia dos Feijões)

20.4. Você está satisfeito com o tempo livre que tem?

20.5. Você está satisfeito com a sua saúde?

20.6. Você está satisfeito com a sua vida, em geral?

20.7. O que falta para melhorar?

21. PARTICIPAÇÃO EM PROJETOS (INDIVIDUAL)

VOCÊ PARTICIPA OU JÁ PARTICIPOU DE ATIVIDADES DE :

(A) extração/manejo de produtos da floresta (frutas, madeira,...), (B) de recursos aquáticos (peixes) ou (C) de agricultura?
(Escrever na tabela se Tipo A, B, ou C)

Qual atividade? (por exemplo, extrativismo de babaçu, extrativismo de castanha, manejo de Madeira, manejo de pirarucu, projeto de agroecologia, safes, etc)

Quanto tempo durou a atividade?

Como começou?

Com quem colaborou nesta atividade?

Por que colaborou com esta pessoa?

Quais os benefícios em colaborar com esta pessoa nesta atividade?

Quais os problemas de colaborar com esta pessoa nesta atividade?

Você participa ou já participou de atividades de:

(A) extração/manejo de produtos da floresta (frutas, madeira,...), (B) de recursos aquáticos (peixes) ou (C) de agricultura?

21.1. **NA COMUNIDADE:** Sim ☐ Não ☐ (Se o comunitário responder somente o projeto PLUPH, seguir diretamente para as questões 21.31).

Tabela Parte I

21.2. Tipo de atividade	21.3. Nome da atividade	21.4. Duração (ano de início e fim)	21.5. Como começou?	21.6. Com quem colaborou/colabora? Nome + IDI
-------------------------	-------------------------	-------------------------------------	---------------------	---

Tabela Parte II

Tipo de atividade	21.7. Por que colaborou com esta pessoa?	21.8. Quais os benefícios desta colaboração?	21.9. Quais os problemas desta colaboração?
-------------------	--	--	---

Você participa ou já participou de atividades em:

- (A) extração/manejo de produtos da floresta (frutas, madeira,...),
 (B) de recursos aquáticos (peixes...) ou (C) de agricultura alternativa/ sustentável?

21.10. juntamente **COM OUTRAS COMUNIDADES**: Sim ☐ Não ☐

Tabela Parte I

21.11. Tipo de atividade	21.12. Nome da atividade	21.13. Com quem colaborou/colabora?	21.14. Duração (ano de início e fim)	21.15. Como começou?	21.16. Comunidade e localização
--------------------------------	-----------------------------	--	---	-------------------------	------------------------------------

Tabela Parte II

Tipo de atividade	21.17. Qual foi a sua função/participação ?	21.18. Por que colaborou com esta pessoa?	21.19. Quais os benefícios?	21.20. Quais os problemas?
----------------------	--	---	--------------------------------	-------------------------------

Você participa ou já participou de atividades juntamente com pessoas do governo (municipal, estadual ou federal), ONGs, Associações, Universidade, empresas:

(A) manejo de produtos da floresta (frutas, madeira,...), (B) de recursos aquáticos (peixes) ou (C) de agricultura?

21.21. juntamente **COM PESSOAS DO GOVERNO (MUNICIPAL, ESTADUAL OU FEDERAL), ONGS, ASSOCIAÇÕES, UNIVERSIDADE, EMPRESAS:** Sim ☐ Não ☐

Tabela Parte I

Tipo de atividade	21.22. Nome da atividade	21.23. Com quem colaborou/colabora?	21.24. Duração (ano de início e fim)	21.25. Como começou?	21.26. Instituição o e cargo
-------------------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	----------------------	------------------------------

Tabela Parte II

Tipo de atividade	21.27. Qual foi a sua função/participação?	21.28. Por que colaborou com esta pessoa?	21.29. Quais os benefícios?	21.30. Quais os problemas?
-------------------	--	---	-----------------------------	----------------------------

21.31. Você participa ou já participou de alguma atividade do projeto PLUPH (reuniões, plantio, trabalho, coleta de dados, etc.)
 Sim ☐ Não ☐

21.32. Se sim, quais atividades:

Reuniões ☐ Trabalho (diarista, ajudante) ☐ Entrevistas ☐
 Entrega de resultados ☐
 Coleta de sangue ☐ Despedidas/eventos ☐ Plantios (demarcação/plantar mudas) ☐
 Outros ☐

21.33. Você já foi visitar os plantios do PLUPH? Sim ☐ Não ☐

21.34. Se sim, você foi

somente durante atividades de visita organizadas pelo projeto PLUPH ☐ visitar por iniciativa própria ☐
 Por quais razões foram visitar os plantios?
 Trabalho ☐ Parentes/vizinho/amigo ☐ Curiosidade/interesse ☐ Outros ☐
 Por quais razões não foram visitar os plantios?
 Não tem tempo ☐ Distância/acesso ☐ Não tem curiosidade ☐ Outros ☐

21.35. Pra você, quais os principais benefícios desses plantios, sobre a maneira de cultivar que o projeto PLUPH fez?

21.36. Para você, quais os principais problemas desses plantios, da maneira de cultivar do projeto PLUPH?

(Falar ao entrevistado que queremos aprender, queremos melhorar e pra isso precisamos conhecer os problemas que eles vêem nos plantios, as críticas. Tudo isso para não se repetir depois. Mesmo que não seja uma crítica sua, seja algo que ouviu na comunidade, pode expressar aqui).

- Deixar em aberto a pergunta. Caso @entrevistad@ não fale, citar as etapas do plantio e insistir um pouco para ele falar dos problemas.

- Etapas: Escolha dos donos das áreas dos plantios, escolha dos lugares/lotas para os plantios, escolha das plantas/ composição florestal, calendário e época dos plantios, inclusão de toda a comunidade nas atividades do plantio.

E.2. Guide d'entretien (pour entrevues réalisées en 2012)

Tema 1	Variáveis	Falado ? (anotar quando foi falado)
Histórico do lugar aonde foi implementado o plantio	1.1. Uso do solo anterior ao plantio 1.2. Sequencia de uso de solo 1.3. Insumos agrícolas	Usar a pagina com as perguntas sobre o uso de solo <input type="checkbox"/>

Tema 2	Variáveis	Falado ?
Desenvolvimento e produtividade preliminar dos plantio	2.1. Desenvolvimento dos sistemas agrícolas 2.2. Tipo de produtos produzidos 2.3. Numero/quantidade de produtos 2.4. Utilização dos produtos (venda, troco, consumo....) 2.5. Ingá/feijão-guandu e insumos agrícolas 2.6. Trabalho associado a participação aos plantios, etc.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Tema 3	Variáveis	Falado ?
Percepções da intervenção e participação nos plantios	3.1. Opinião sobre a diferentes fases dos plantios 3.2. Problemas enfrentados com os plantios 3.3. Resultados da sua participação nos plantios 3.4. Continuação com plantios alternativos	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Tema 4	Variáveis	Falado ?
Satisfação da participação e sugestões para outros projetos	4.1. Sugestão (o que fariam diferentemente) 4.2. Mobilização dos comunitários 4.3. Satisfação geral 4.4. Outros comentários	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

E.3. Entretien semi-dirigé réalisé avec les participants à l'intervention en 2012

Conversa Dono de SAF ou de CF
--

Conversa com : _____ Data _____
Comunidade : _____

Tema 1. Uso do solo na área do plantio

1. O que tinha no lugar do plantio antes da sua implementação ? (*capoeira/mata/roça/pasto/outro*)

 - a) Se era uma capoeira : quantos anos tinha antes da derruba ? _____
 - b) Se era uma roça : Quais foram os cultivos ? _____
2. Indicar na linha do tempo as seqüências de uso deste local desde a primeira derruba, especificando :
 - a) Em que ano foi derrubado pela primeira vez ? (Ex : 1985) _____
 - b) Quantas vezes foi queimado (numero de queimadas : _____)
 - c) Os diferentes usos do solo (capoeira, roça, etc.) e os anos de implementação :



Tema 2. Desenvolvimento e produtividade do plantio (SAF ou sistema de fruteira)

2.1. Continuidade do trabalho no plantio

2.1.1. Você ainda trabalha no plantio ou ainda coleta algumas coisas no plantio ? Sim ☐ Não ☐

2.1.2. Se sim, o que coleta/o que vai fazer ?

Se não, quais são as razões para você não ir mais lá ? *Pedir detalhes.*

2.1.3. Você tinha alguma outra atividade ou outra prioridade que limitou a sua disponibilidade de tempo no plantio ?

Insistir. Por exemplo :

- Necessidade de trabalhar na roça
- Situação da família (doença, mudança, etc.)
- Trabalho remunerado ou outras atividades
- Outros

2.2. Desenvolvimento geral do plantio

2.2.1. De um modo geral, como foi o desenvolvimento do plantio até agora ?

- Se o entrevistado fala que deu bem, pedir mais detalhes e insistir para saber se teve uma coisa que não foi bem.
- Se o entrevistado fala que não deu muito bem, perguntar quais são os fatores que limitaram o desenvolvimento do plantio ?

Exemplo de perguntas para guiar a conversa :

- Quais plantas desenvolveram melhor ?
- Quais plantas não desenvolveram bem ? O que aconteceu ?

(Se preciso, enumerar as plantas e perguntar sobre o desenvolvimento delas)

2.2. Produtividade do plantio

- 2.2.1. Quais tipos de plantas já produziram no plantio? (perguntar se eles anotaram no caderno que a Annie deixou no mês de abril)
- 2.2.2. Para cada tipo de planta que produziu desde o início do plantio, quanto foi produzido?
- 2.2.3. Como usaram/o que fizeram com os produtos produzidos no plantio?
- 2.2.4. Se vendeu, qual foi o preço de venda?

Tipo de planta	2.2.1. Este tipo de planta já produziu?	2.2.2. Quanto? Especificar a unidade (nº de frutas, peso ou nº de sacos). Anotar se não sabe.	2.2.3. Uso da produção? (Para cada uso, perguntar qual proporção)
Araçá-boi	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		2.2.4. Se vendeu, perguntar a qual preço Consumo <input type="checkbox"/> Alimentação animais <input type="checkbox"/> Venda na cidade <input type="checkbox"/> Troca <input type="checkbox"/> Deixou no plantio <input type="checkbox"/> Venda na comunidade <input type="checkbox"/> Preço: _____ Outro <input type="checkbox"/> Especificar: _____
Acerola	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Consumo <input type="checkbox"/> Alimentação animais <input type="checkbox"/> Venda na cidade <input type="checkbox"/> Troca <input type="checkbox"/> Deixou no plantio <input type="checkbox"/> Venda na comunidade <input type="checkbox"/> Preço: _____ Outro <input type="checkbox"/> Especificar: _____
Abacaxi	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Consumo <input type="checkbox"/> Alimentação animais <input type="checkbox"/> Venda na cidade <input type="checkbox"/> Troca <input type="checkbox"/> Deixou no plantio <input type="checkbox"/> Venda na comunidade <input type="checkbox"/> Preço: _____ Outro <input type="checkbox"/> Especificar: _____
Banana	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	_____ cachos	Consumo <input type="checkbox"/> Alimentação animais <input type="checkbox"/> Venda na cidade <input type="checkbox"/> Troca <input type="checkbox"/> Deixou no plantio <input type="checkbox"/> Venda na comunidade <input type="checkbox"/> Preço: _____ Outro <input type="checkbox"/> Especificar: _____
Outros? Especificar: <i>graviola, etc.</i>	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Consumo <input type="checkbox"/> Alimentação animais <input type="checkbox"/> Venda na cidade <input type="checkbox"/> Troca <input type="checkbox"/> Deixou no plantio <input type="checkbox"/> Venda na comunidade <input type="checkbox"/> Preço: _____ Outro <input type="checkbox"/> Especificar: _____
Ingá	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>		Consumo <input type="checkbox"/> Alimentação animais <input type="checkbox"/> Venda na cidade <input type="checkbox"/> Troca <input type="checkbox"/> Deixou no plantio <input type="checkbox"/> Venda na comunidade <input type="checkbox"/> Preço: _____ Outro <input type="checkbox"/> Especificar: _____

2.2.2. Em geral, quais são as principais razões que limitaram o desenvolvimento ou a produção do plantio ?

Pedir ao entrevistado para escolher os três fatores principais :

Tipo de solo – não presta

Local não é bom para cultivar (ex : capoeira vs mata)

Saia

Capim

Outra praga

Pouca manutenção/falta de tempo para trabalhar no plantio

Adubação deficiente ou errada

Seca ou calor forte

Calendário de plantação

Outro – especificar

2.2.2. E os que ajudaram ?

Tipo de solo – bom

Local é bom para cultivar (ex : antiga mata)

Manutenção/trabalho no plantio

Ajuda

Chuvvas

Adubação

Calendário de plantação

Outro – especificar

2.3. Inga e insumos agrícolas

2.3.1. Já usou folhas de ingá ao redor dos pés das plantas ? Sim ☐ Não ☐

- a) Se sim, como foi o resultado ?
- b) Se não, por quais motivos ? Você pretende fazer ?
- c) O que acha da ideia de colocar folhas ingá nos pés das plantas ?

2.3.2. Além da adubação feita junto com o pessoal do projeto, já aplicou outros insumos no plantio (ex : veneno, etc.) ?
Sim ☐ Não ☐

- a) Se sim, qual produto foi aplicado e quanto produto foi usado ?

2.4. Trabalho no plantio

2.4.1 Quantos dias você dedica para manter o plantio para :
Queremos saber qual foi a trabalho depois da fase da plantação (numero de dias por mês)

- 2.1 Capinar
- 2.2 Coletar
- 2.3 Outros (ex : adubar, aplicação de veneno, etc.)

2.4.2. Já achou que o tempo que você passou para trabalhar no plantio já atrapalhou o trabalho na sua roça ?
Pode explicar de que maneira ?

2.5. Outros comentários

Perguntar a pessoa se tiver qualquer outros comentário sobre o desenvolvimento o a produção do plantio.

Tema 3. Percepções de práticas agroecológicas

Gostariamos de saber qual é sua opinião e o nível de interesse das pessoas da comunidade em plantios alternativos.

3.1. Interesse e opinião sobre práticas agroecológicas

3.1.1. O que você acha que plantios podem trazer de bom para sua família ?

- a) Queremos sua opinião geral, não especificamente dos plantios do PLUPH, mas de qualquer tipo de plantios
- b) E de plantios definitivos (por exemplo de cacau, de mogno, etc.)

Ex.: Investimento para o futuro, diversidade de produtos, proteção do solos, etc.

3.1.2. Segundo você, qual proporção da comunidade tinha interesse em plantios definitivos antes do projeto ?

(Para esta pergunta, utilizar a metodologia das carinhas e distribuir os feijões : não interessados/tanto faz/interessados)

3.1.3. Segundo você, o que poderia ter sido feito para mobilizar melhor os comunitários para participar num projeto de plantios ?

Tema 4. Participação e percepção dos plantios do PLUPH

Gostariamos de saber o que achou dos plantios implementados pelo PLUPH e da sua participação no projeto. Pode ficar vontade se expressar e falar sinceramente. Precisamos da sua opinião para aprender e poder melhorar nosso trabalho.

4.1. Expectativas e problemas encontrados nas diferentes fases dos plantios

4.1.1. Gostariamos de ter sua opinião sobre o projeto de plantios do PLUPH. Quais foram as coisas positivas e os problemas encontrados desde o início do projeto ?

Diz para a pessoa de ficar vontade falar abertamente. Se a pessoa não fala nada, insistir dizendo que sua opinião é importante para nos podermos melhorar nosso trabalho.

4.1.2. Gostaríamos de entender melhor quais foram a dificuldades encontradas durante as diferentes fases dos plantios.
Pedir para a pessoa de falar das etapas seguintes :

- a) *Início do projeto e elaboração dos plantios (final de 2008) : escolha dos locais e das plantas escolhidas. Escolha dos donos (perguntar só para quem não tem plantio)*
- b) *Implementação dos plantios (2009-Início de 2010) : calendário de plantação, etc.*
- c) *Andamento dos plantios (2010 até agora) : apoio técnico, adubação, manutenção, etc.*

4.1.3. O que a comunidade esperava do projeto em relação aos plantios no início do projeto ? *Pedir para a pessoa de descrever.*
Estas expectativas foram atendidas ?

4.1.2. Hoje, segundo você, o que as pessoas da comunidade acham dos plantios do PLUPH ? O que ouviu falar sobre os plantios ?

4.2. Resultados da sua participação nos plantios.

4.2.1. O que você ganhou da sua participação nos plantios ? Quais foram os benefícios da sua participação ?

Pedir detalhes sobre resultados que não são materiais. Por exemplo, a pessoa pode falar de :

- *Aprendizagem*
- *Novas técnicas*
- *Orgulho de participar num experimento*
- *Investimento para o futuro*

4.2.2. O que você aprendeu durante a sua participação nos plantios ?

4.2.3. Algumas coisas mudaram na sua maneira de roçar ao longo da sua participação no plantio ?
Insistir. Pode ser coisas simples (espaçamento das plantas, posição das estacas, etc.)

Tema 5. Satisfação e sugestões

Estamos conscientes que tudo não deu totalmente certo com os plantios e achamos importante de aprender dos seus conhecimentos práticos para melhorar nosso trabalho.

5.1. Sugestões

5.1.1. Se você pudesse recomendar de novo a sua experiência com os plantios, o que você mudaria na elaboração e na implementação do plantio ? *Pedir para a pessoa de explicar o que ela faria diferentemente. Como ela veja um projeto "ideal" de plantios ?*

5.1.2. Você gostaria de fazer algum outro tipo de plantio no futuro ? Sim ☐ Não ☐

- Se sim : Pode falar o que gostaria de fazer ?
- Se não : Porque ?

5.2. Satisfação

5.2.1. De um modo geral, você está satisfeito com a sua participação nos plantios ?

5.2.2. De um modo geral, você está satisfeito com a presença do projeto PLUPH na sua comunidade ?

(Para questões 5.2.1 e 5.2.2., utilizar o cartão de satisfação e usar a metodologia dos feijões)

5.3. Outros comentários

Pedir para a pessoa falar de qualquer coisa que não foi abordada durante a conversa. Ela pode ficar vontade.

ANNEXE F

PHOTOS DES ACTIVITÉS DE RETOUR AUX COMMUNAUTÉS

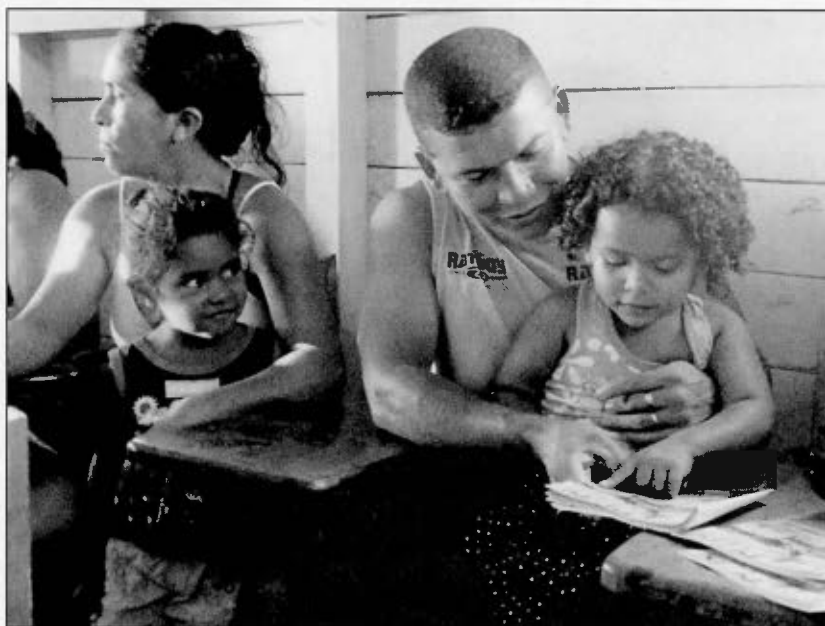
F. a) Réunions communautaires de retour aux communautés



F. b) Marche éducative dans les plantations

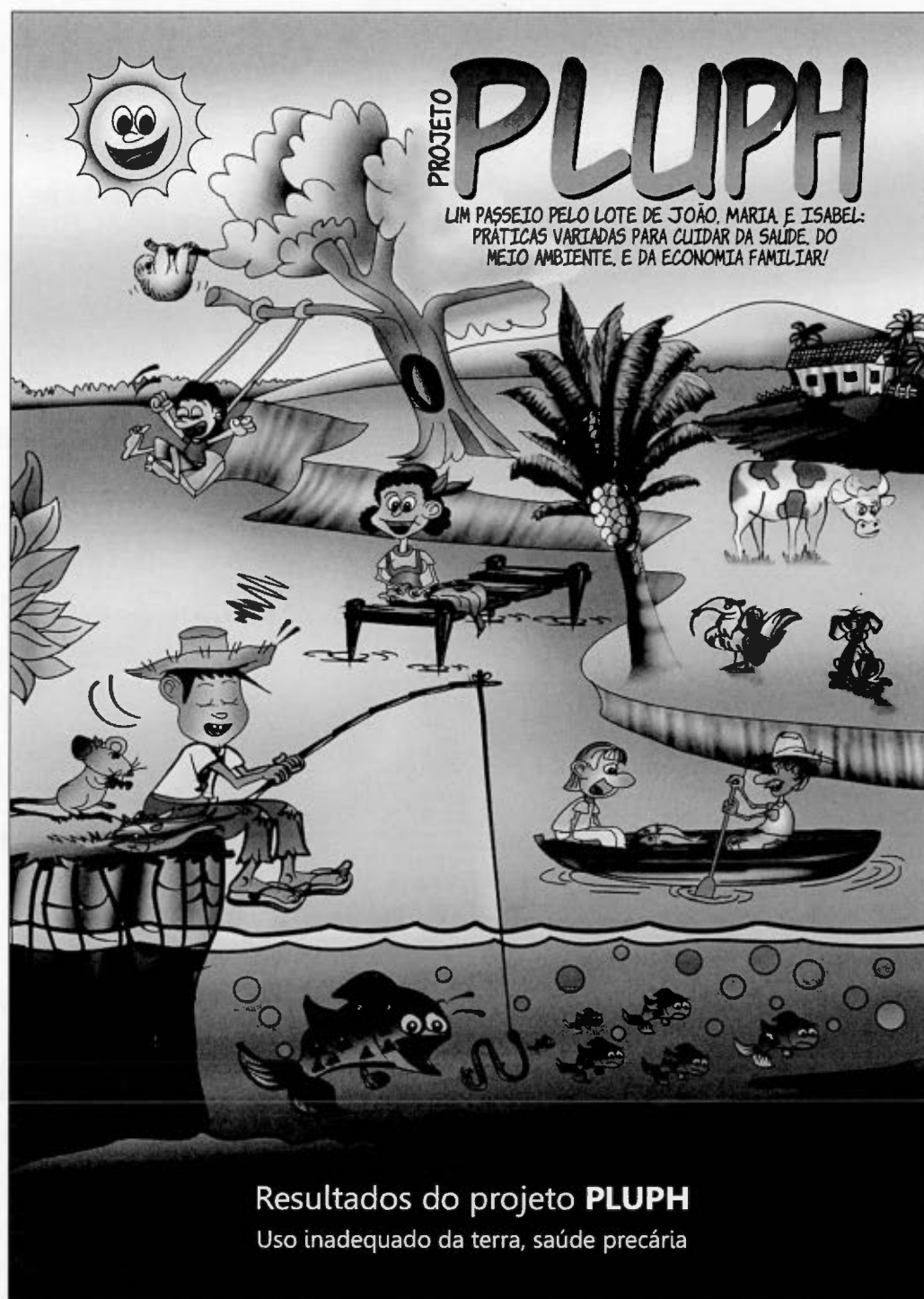


F. c) Atelier participatif avec présentation de la bande dessinée éducative



ANNEXE G

BANDE DESSINÉE ÉDUCATIVE
DESTINÉE AUX COMMUNAUTÉS AMAZONIENNES

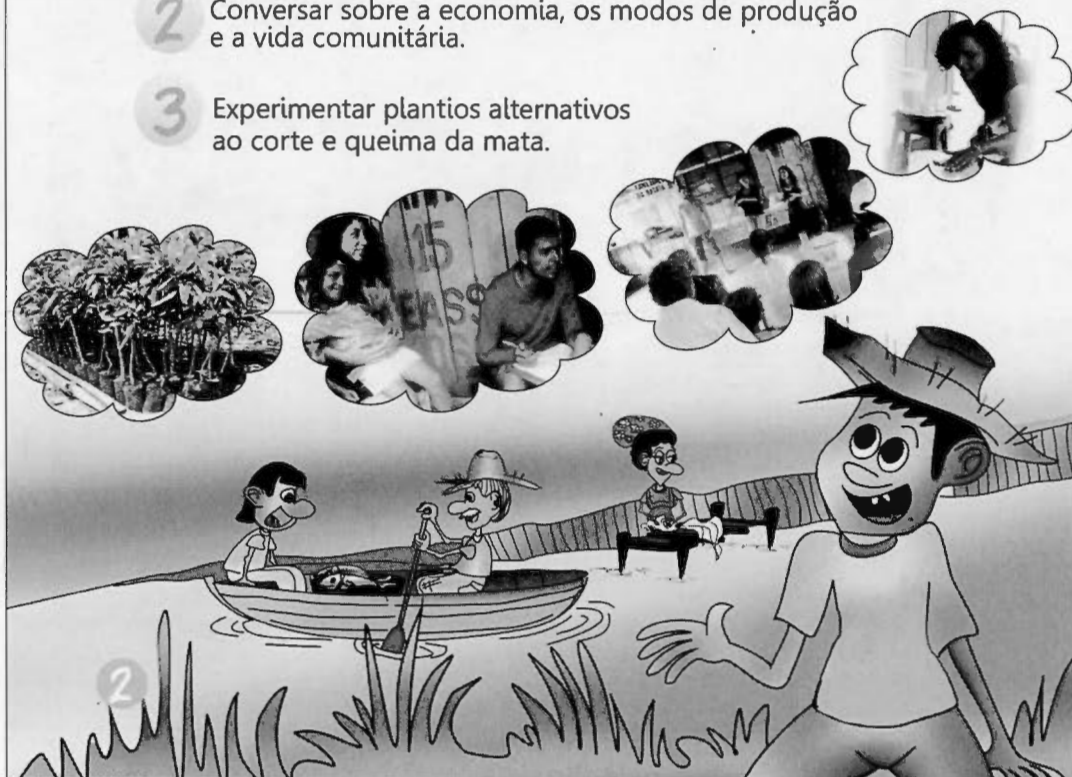


Lembra do projeto **PLUPH?**

De 2007 a 2013, o projeto trabalhou junto com quatro comunidades da região do Rio Tapajós e da BR-163 para entender as relações entre os modos de vida, a saúde, e o meio ambiente.

O Projeto PLUPH veio fazer o que?

- 1 Pesquisar as relações entre as mudanças de uso da terra, os riscos da exposição ao mercúrio e da transmissão da doença de Chagas.
- 2 Conversar sobre a economia, os modos de produção e a vida comunitária.
- 3 Experimentar plantios alternativos ao corte e queima da mata.

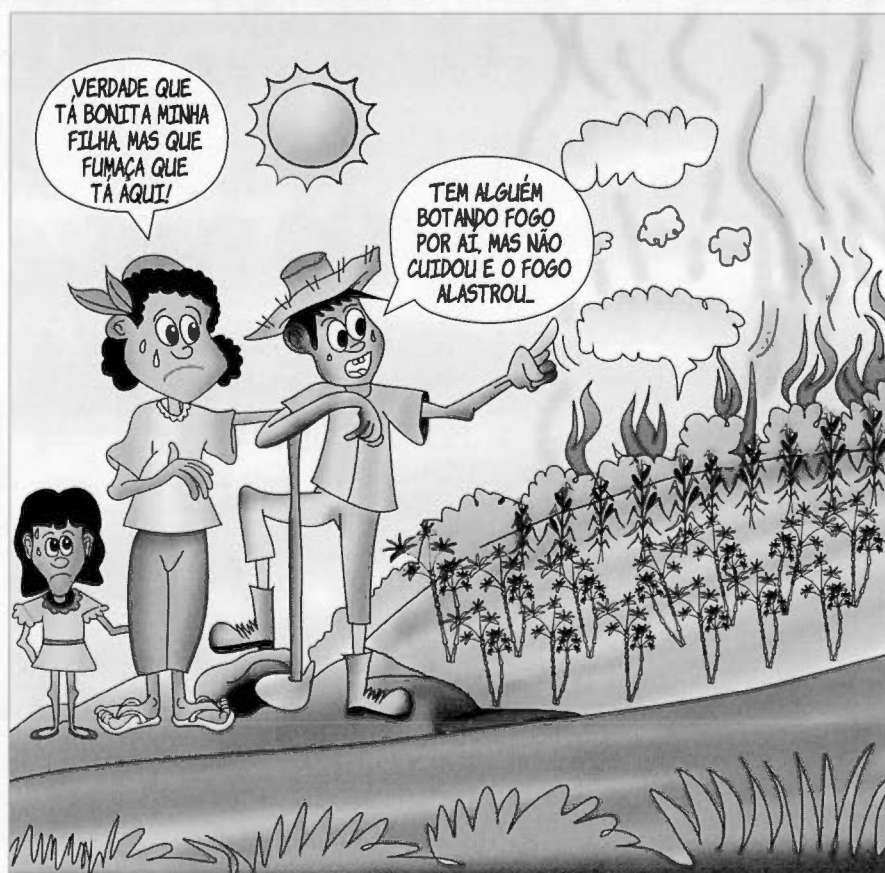


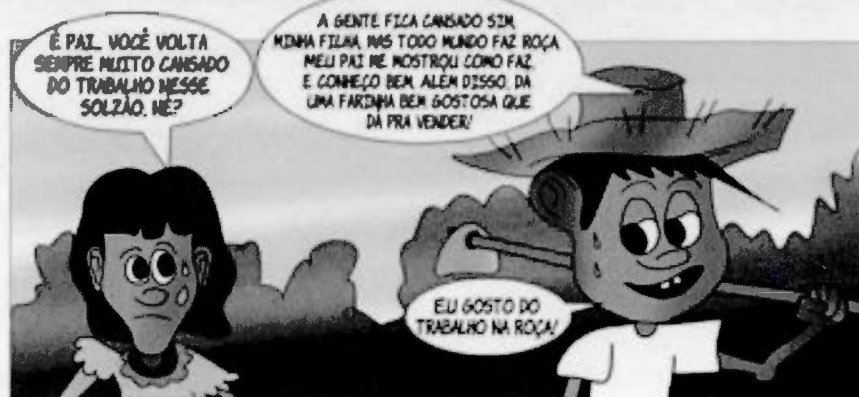
Por que uma cartilha?

- ★ Compartilhar os resultados do projeto PLUPH
- ★ Conversar sobre a diversidade de atividades das regiões rurais da Amazônia. Cada atividade traz benefícios, mas também desvantagens para o meio ambiente, a economia familiar, e a saúde das pessoas nas comunidades.
- ★ Relembrar que a diversificação das atividades pode ajudar as famílias a lidar com os desafios da vida, e contribuir para melhoria da saúde, do meio ambiente, e da economia familiar.











- ISABEL: OLHA MÃE O NOVO BOIZINHO QUE NASCEU DUAS SEMANAS ATRÁS. JÁ ESTÁ GORDINHO!

- MARIA: É FILHA. MAIS LÍM PRA VENDER QUANDO PRECISAR! O BOI DÁ UM LUCRO BOM. JOÃO, LEMBRA QUANDO VOCÊ ESTAVA DOENTE? A GENTE VENDEU UM BOI PRA AJUDAR COM AS DESPESAS!

- JOÃO: MAS, MARIA, ONTEM O GADO FOI NA ROÇA DO VIZINHO E PISOU TUDO. AGORA O VIZINHO ESTÁ CHATEADO COM A GENTE, E TÁ RECLAMANDO.

- ISABEL: VERDADE PAPAÍ. O BOI PISOU TUDO! VIU COMO A TERRA ESTÁ DURA? E AINDA TEM BOSTA DE BOI PRA TODO LADO QUE VAI EMBORA NA ÁGUA QUANDO CHOVE!

- MARIA: VERDADE, FILHA! O AGENTE DE SAÚDE ME FALOU QUE TODA ESSA BOSTA DO GADO NÃO É BOA PARA A ÁGUA - A GENTE PODE FICAR DOENTE SE NÃO FERVER OU COLOCAR CLORO NA ÁGUA ANTES DE TOMAR OU USAR PRA COZINHAR.

- JOÃO: NOSSA, ESTÁ MUITO QUENTE AQUI. 'BORA PRA UMA SOMBRA NA MATA!

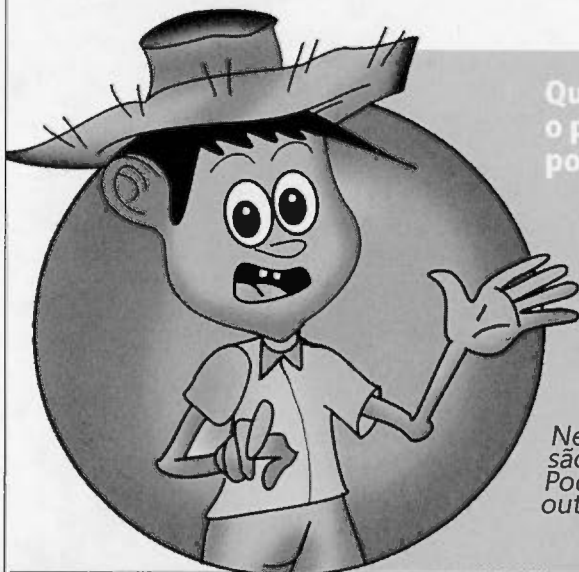
- MARIA: VAMOS. MAS ESPERA AI RAPIDINHO. VOU PEGAR UNS COQUINHOS DE BABAÇU PRA TIRAR O ÓLEO. SÓ QUE TEM QUE TER CUIDADO, AS VEZES O BABAÇU PODE TER BARBEIRO, NÉ? AQUELE QUE PODE DAR A DOENÇA DE CHAGAS.

- JOÃO: POIS É, MAS NÃO É SEMPRE QUE ISSO ACONTECE. O PROJETO PLLPH NOS FALOU DISSO. LEMBRA DO QUE ELES FALARAM?

O que é a doença de Chagas?

Uma doença causada por um parasita que pode viver:

- * No corpo do barbeiro (que se chama também em outros locais do Brasil de chupão, bicudo ou fincão).
- * No corpo de animais da mata com sangue quente (como o tatu, capivara, gambá, paca, tamanduá, cutia, etc.)
- * No corpo dos animais domésticos (gato, cachorro, porco, etc.)
- * No corpo humano



Quando o humano tem o parasita em seu corpo, pode ter efeitos como:

- * Intestinos e coração grande
- * Cansaço excessivo
- * Inchaço das pernas e dos pés

Nem todos esses sintomas são causados pelo parasita. Podem ser causados por outras doenças também...



Se você acha que tem esses sintomas:

deve falar com um profissional da saúde (médico, enfermeira) e se consultar para saber se tem a doença de Chagas.

E como se pode pegar a doença?



As pessoas podem ser infectadas pelo parasita de várias maneiras:

01) A maneira mais conhecida é aquela em seguida à picada de um barbeiro:

- * O barbeiro precisa chupar o sangue para viver
- * Quando o barbeiro pica uma pessoa, ele faz cocô ao mesmo tempo sobre a pele.
- * O cocô dele pode conter o parasita que causa a doença.
- * Quando a pessoa coça a picada, de repente o cocô pode entrar na ferida e infectar a pessoa.

02) Comer carne de caça contaminada pelo parasita e que está pouco cozida.

03) Ingerir comidas e sucos (como açaí, bacaba ou cana) que são contaminados com o parasita. **Os alimentos se contaminam quando um barbeiro cai na comida ou um gambá contaminado urina ou entra em contato com ela.**

04) Quando uma mulher já tem a doença, seu bebê pode pegar quando nascer.



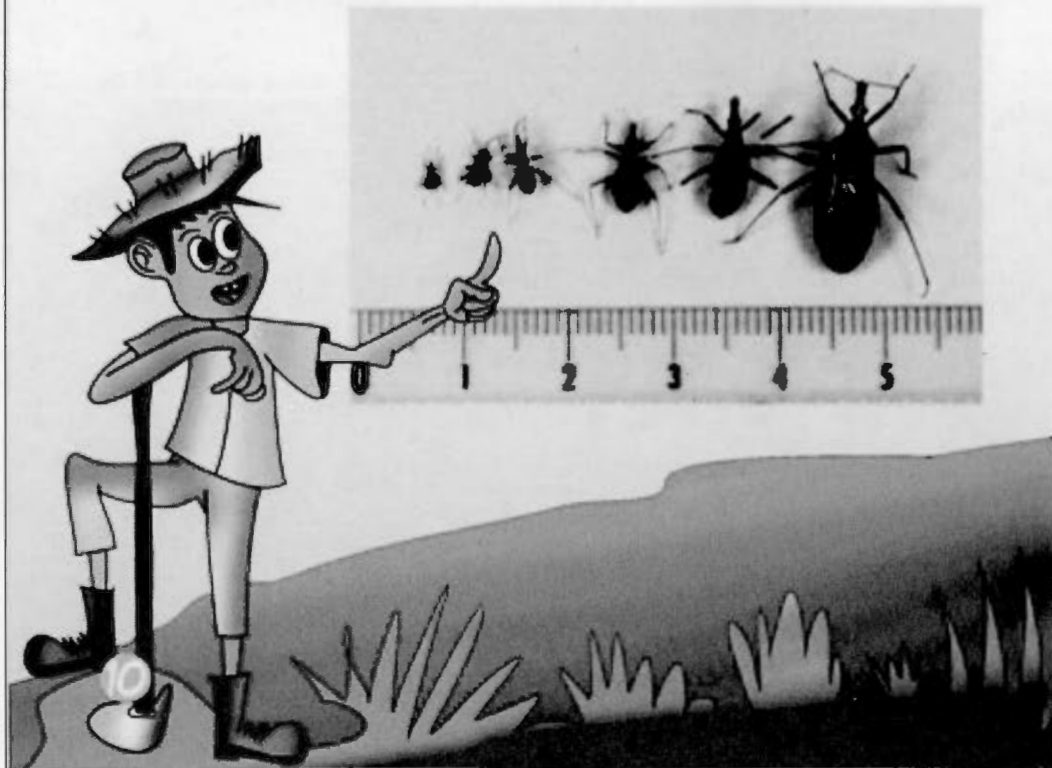
Já conhecem o **BARBEIRO**?

É um inseto que chupa sangue para crescer e se reproduzir.

Eles parecem como na foto abaixo mas existem também outros tipos de barbeiros

Ele chupa sangue dos:

- * animais domésticos
- * animais da mata
- * humanos



Mudanças no meio ambiente e os barbeiros



* O barbeiro pode viver na floresta, no pasto ou na roça.

* O barbeiro gosta sobretudo de ficar nas palmeiras, como o babaçu, urucuri, e inajá.

* As palmeiras crescem rapidamente depois das derrubadas e queimadas no terreno.

Quando tem palmeiras no pasto, na roça, ou perto das casas, elas podem se tornar uma ponte para os barbeiros se espalharem da mata até outros lugares, inclusive até às casas da comunidade.

OUTROS TIPOS DE BARBEIRO
TAMBÉM VIVEM NOS OCOS DAS ÁRVORES,
TOCOS PODRES, BURACO NO CHÃO,
E NOS CLIPINZEIROS.





Como a gente pode evitar a doença?

- Os barbeiros gostam da luz, e podem voar da palmeira até à casa de noite. O barbeiro pode ficar nos buracos, atrás e embaixo dos móveis, nas paredes, no teto, e sobretudo na cama. Eles se escondem de dia e saem de noite para se alimentar.
- Então, quando se preparam comidas e sucos, é melhor fazer de dia. E também prestar atenção para o barbeiro não cair na comida e contaminá-la.
- Quando se prepara carne de caça que pode ter o parasita (como tatu, paca, capivara, cutia, etc.), tenha certeza de bem cozinhar, porque o calor mata o parasita. Também evitar o contato do sangue do animal com os olhos, a boca, e qualquer ferida aberta na pele.

Então, pode dar uma olhada de vez em quando para ver se tem barbeiro dentro e/ou ao redor da casa

Se tiver:

- * Não tocar o bicho com as mãos nem utensílios da cozinha. Pode capturar o inseto em um recipiente que fecha bem, como uma garrafa de água ou uma caixa de fósforos, por exemplo. Não reutilizar o recipiente, pois ele pode estar contaminado.
- * Falar com um agente de saúde e lhe entregar o recipiente. Ele deve comunicar o caso na rede municipal de saúde.



_NA MATA



...CHEGANDO NA BEIRA DO RIO





O que é Mercúrio?



- 01) O mercúrio é um elemento que existe naturalmente nos solos da região, mas que não dá pra ver. Ele fica lá na terra quieto e assim não causa dano para as pessoas, animais e plantas.
- 02) Depois de uma derrubada e uma queimada, a água das chuvas carrega o solo até os rios e os lagos, e junto com a terra vai o mercúrio.
- 03) Na água, o mercúrio entra nas raízes das plantas aquáticas, e quando isso acontece, ele fica mais tóxico para as pessoas e para os animais.
- 04) Os peixes que comem as plantas com mercúrio vão juntando cada vez mais mercúrio. Mas os peixes que comem outros peixes acabam ficando com mais mercúrio.
- 05) Quando as pessoas comem peixes contaminados, o mercúrio que estava na carne do peixe passa para o corpo da pessoa. Quanto mais peixe com mercúrio a gente come, mais mercúrio passa para o nosso corpo.



O mercúrio nos peixes

Como que é mesmo essa história dos peixes?

Alguns peixes têm mais mercúrio, e outros têm menos. Por exemplo, os peixes que comem outros peixes têm mais mercúrio (como a pescada, surubim, piranha, pirarucú, filhote, tucunaré, etc.). Peixes que não comem outros peixes (só comem plantas) têm menos mercúrio na sua carne (por exemplo: jaraqui, aracú, tambaqui, pacú).

SABENDO ISSO,
O QUE A GENTE FAZ ?

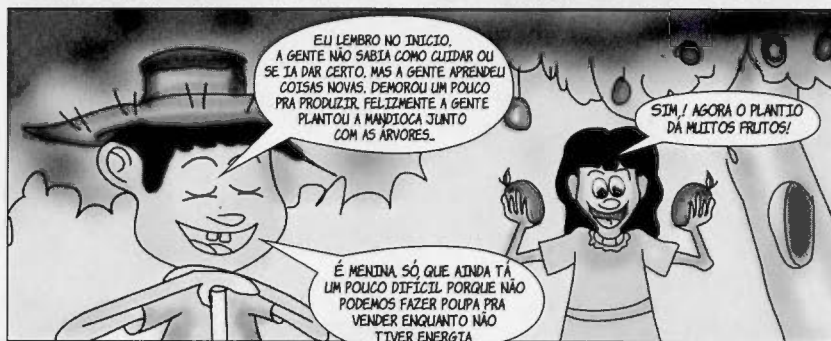
SE POSSÍVEL, PODE
ESCOLHER CERTOS TIPOS
DE PEIXE QUE TÊM MENOS
MERCÚRIO, PRA DIMINUIR
O TANTO DE MERCÚRIO
ENTRANDO EM
SEU CORPO.



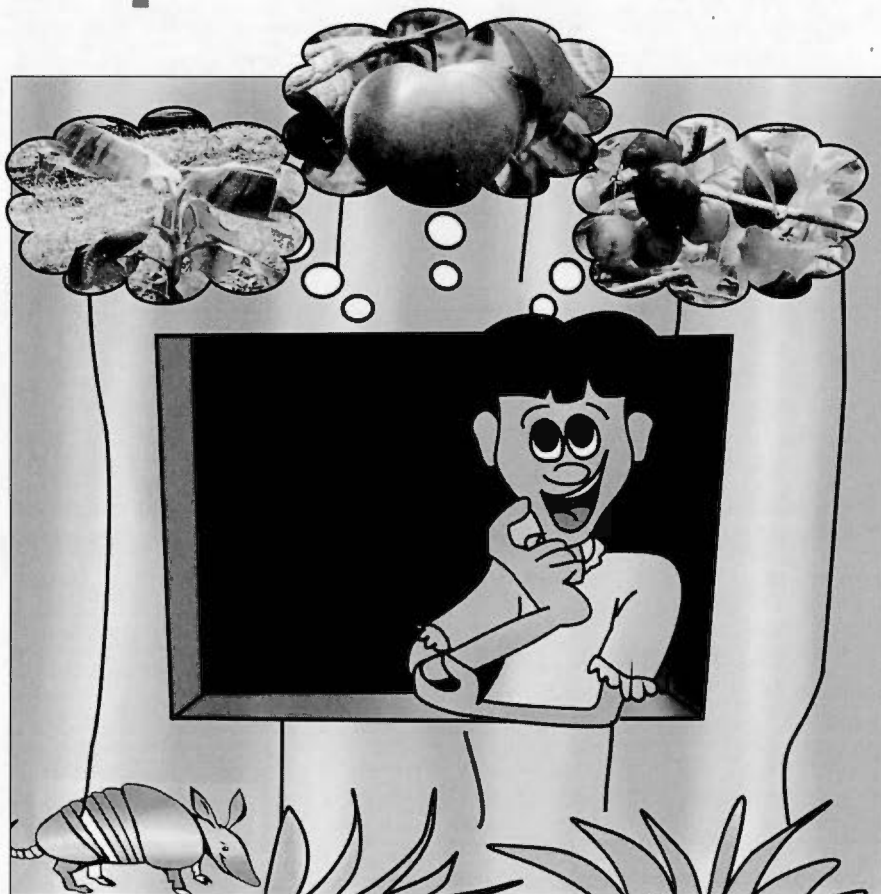
**"Comer peixe é bom, mas temos
que ficar atentos aos possíveis
riscos do mercúrio para a
nossa saúde"**



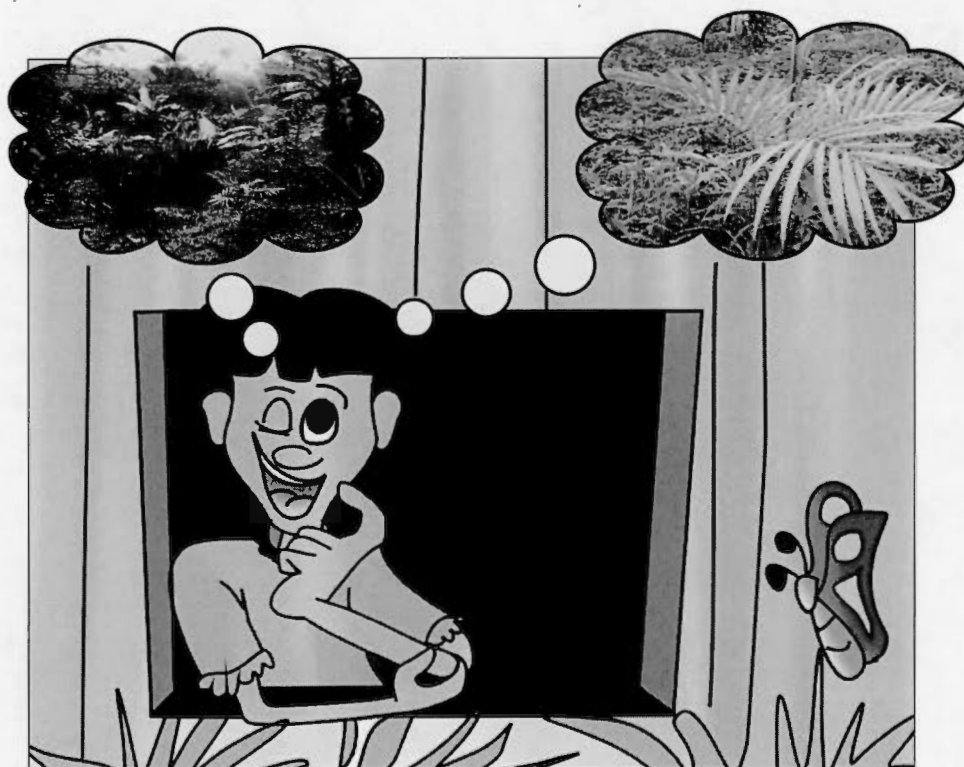
- * O consumo de peixe com mercúrio durante a gravidez pode prejudicar o bom desenvolvimento das crianças.
- * Porém, nem todos estes problemas podem ser causados só pelo mercúrio.



Os plantios do PLUPH



- * Os plantios do PLUPH foram realizados no objetivo de evitar o uso repetido do fogo e reduzir a erosão, ou seja, limitar a ida do solo para a água. Além de ajudar o roçado a produzir mais, isto poderia diminuir a multiplicação das palmeiras onde vive o barbeiro e evitar que o mercúrio seja carregado para as águas.
- * Várias árvores foram colocadas em consórcio: Açaí, banana, araçá-boi, acerola, laranja, graviola, manga, castanha-do-pará, andiroba, abacaxi, ingá.



Porque uma mistura de plantas?

- * Cada planta produz em diferentes épocas do ano, assim a gente pode vender e consumir as frutas o ano inteiro.
- * Tem algumas plantas que produzem mais rápido (banana, abacaxi, araçá-boi, etc.), enquanto, outras demoram um pouco (manga, laranja, etc.), ou demoram muito mais (castanha-do-pará e andiroba). Mas ao longo do tempo a gente tem muito o que aproveitar no lote.

E aí, como foram feitos os plantios do PLUPH?

- * Foi preciso queimar e adubar só no início para limpar a área e fortalecer o solo.
- * Em seguida, as raízes das plantas e as folhas que caem das árvores nutrem o solo, e isso dá força para as plantas. Também, as raízes e as folhas evitam que o solo vá embora, diferentemente do que acontece na roça quando tem erosão. Quando o plantio em consórcio já está firme e foi pra frente, ele pode lembrar uma floresta, fica bem parecido.
- * Plantas que ajudam a fortalecer o solo ainda mais (como o ingá e o feijão guandú) foram plantadas ao redor dos plantios. Assim, as ramas e as folhas dessas plantas podem ser colocadas no chão e vão adubar o solo.

VOLTANDO PRA CASA



- MARIA: CHEGAMOS EM CASA! QUANTA COISA QUE A GENTE VIU NO LOTE EM UM DIA SÓ NÉ?

- JOÃO: VERDADE! AS NOSSAS ATIVIDADES DIVERSIFICADAS DE USO DA TERRA NOS PERMITEM:

- ★ DIMINUIR O RISCO DE TRANSMISSÃO DA DOENÇA DE CHAGAS E DA EXPOSIÇÃO AO MERCÚRIO.
- ★ E SE ADAPTAR A IMPREVISTOS FINANCEIROS, PROBLEMAS DE SAÚDE E MUDANÇAS NO CLIMA.

- MARIA: POIS É MEU MARIDO, TOMANDO DECISÕES E TRABALHANDO JUNTOS, CONSEGUIREMOS UM FUTURO MELHOR PARA A NOSSA FAMÍLIA.

- ISABEL: SIM, SABENDO TUDO ISSO, A GENTE PODE FAZER ESCOLHAS PARA VIVER BEM NO CAMPO CUIDANDO DO MEIO AMBIENTE E DA NOSSA SAÚDE.

FIM

21

Para mais informações na região, pode contatar:

Saúde
Hospital regional de Santarém
 Avenida Sérgio Hein 1100, Santarém
 CEP 68020000
 Fone: (93) 2101-6200
 Acompanhamento médico para a doença de Chagas

Secretaria Municipal da Saúde, Aveiro
 e-mail: smsaveiro@yahoo.com.br
 Fone: (93) 3505-1204, (93) 3505-1193

SESPA - Secretaria de Estado de Saúde Pública, Santarém
 Divisão de Endemias do 9º CRS
 Fone: (93) 9908-6835/9194-8544/523-2627

Meio ambiente e agricultura familiar

CODETER – Colegiado de Desenvolvimento Territorial da BR 163
 Fone: (93) 9133-0929

EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Pará, Itaituba
 Fone: (93) 8128-0778, (93) 3518-4120

IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
Itaituba: Rua Lázaro de Almeida Baima, 791
 (2ª Rua) - Jardim das Araras
 Fone: (93) 3518-2172, (93) 3518-1531
Santarém: Av. Rui Barbosa, 136
 Bairro: Prainha
 Fone: (93) 3522-5538/3522-5285

SAGRI – Secretario de estado da agricultura Itaituba
 Fone: (93) 3518-3297

Viveiro Floresta (Compra de mudas), Itaituba
 4º Rua, Esquina com Trav. No 57
 Bairro Floresta
 Fone: (93) 3518-3196

Programa Municípios Verdes: Aveiro, Rurópolis e Trairão, aonde foram realizados os estudos do projeto PLUPH, são participantes deste programa, que é uma iniciativa do governo do Estado do Pará.
<http://municipiosverdes.com.br/>
 Rua dos Mundurucus, 2313, Bairro Batista Campos
 Belém - PA CEP: 66033-718
 Fone: (91) 3222-9529
 email: atendimento@municipiosverdes.com.br

Acosper - Cooperativa dos Trabalhadores Agroextrativista do Oeste do Pará
 Rod. Santarém Cuiabá, s/n, Bairro Matinha, Santarém

Ideflor
 Santarém, Endereço: Av. Rosa Passos 525 – Prainha, CEP: 68020-730, Fone: (93) 8804-2073

ITESAM – Instituto de Tecnologias Sustentáveis para a Amazônia
 Assis de Vasconcelos 554, Aldeia, Santarém
 Fone: (93) 35292722

Fetagri – Federação dos Trabalhadores e Trabalhadoras na Agricultura do Estado do Pará
 Trav. Dom Pedro I, 1012 – Umarizal – Belém – Pará CEP: 66.050-100
 Fone: (91) 3241-2419
 Email: fetagri.pa@gmail.com

Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal – FNDF - A comunidade deve ter uma associação com um CNPJ válido para obter apoio.
 Email: fndf@florestal.gov.br
 Fone: (61) 2028-7240
<http://www.florestal.gov.br>

Fórum dos Movimentos Sociais da BR163
 Fones: (93) 3539-1130/93 3539-1244
<http://forumbr163.blogspot.co.uk/>
 Traz informações sobre projetos e ações que acontecem na região próxima e no entorno da BR163.

Ficha Técnica

Concepção do texto e ideia original

Annie Béliveau
Jordan Sky Oestreicher
Stéphane Tremblay

Colaboradores

Émilie Bélanger
Robert Davidson
Leandra Fatorelli
Marc Lucotte
Frédéric Mertens
Carlos Passos
Marion Quartier
Christina Romana
Juliana Valentini

Realização

Projeto PLUPH

Ilustração e digitação

Djair Abreu Oliveira

Impressão

Gráfica Brasil

Tiragem

500 exemplares

Contatos

Université du Québec à Montréal (Canada)
C P 8888, Succursale Centre-Ville Montréal
(Québec) Canada H3C 3P8
<http://www.pluph.uqam.ca>

Centro de Desenvolvimento Sustentável
Universidade de Brasília,
Campus Universitário Darcy Ribeiro,
Gleba A, Asa Norte Brasília-DF
CEP 70904-970
<http://www.cds.unb.br>



Agradecimentos e parceiros

PLU, PH

A pesquisa apresentada nesta cartilha é fruto de um projeto apoiado pela Teasdale-Corti Global Health Research Initiative

A equipe do PLUPH agradece a participação das comunidades de São Tomé, Araipá, Nova Estrala e a Vicinal da Batata

GHRI • IRSM

A CANADIAN GLOBAL HEALTH
RESEARCH PARTNERSHIP

UN PARTENARIAT CANADIEN DE
RECHERCHE EN SANTÉ MONDIALE



Health
Canada

Santé
Canada



Canadian International
Development Agency
Agence canadienne de
développement international



SSHRC

CRSH



UQÀM

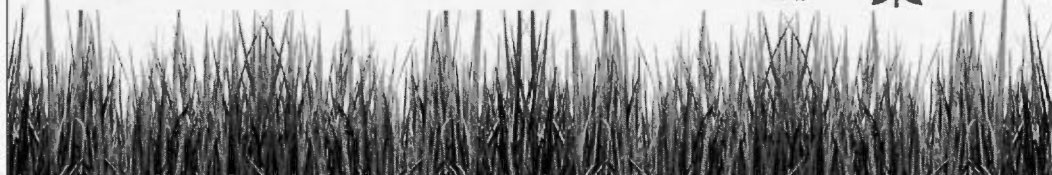
BIODÔME
DE MONTRÉAL

Universidade de Brasília

UNIVERSITÉ
PARIS DESCARTES

Embrapa

UFOPA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE



BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

- Abad-Franch, F., Palomeque, F.S., Aguilar, V.H.M. et Miles, M.A. (2005). Field ecology of sylvatic *Rhodnius* populations (Heteroptera, Triatominae): risk factors for palm tree infestation in western Ecuador. *Tropical Medicine and International Health*, 10 (12) : 1258-1266.
- Akrich, M. (2013). Co-construction, Dans *Dictionnaire critique et interdisciplinaire de la participation*, Castillo, I., Barbier, R., Blondiaux, L., Chateauraynaud, F., Fourniau, J.-M., Lefebvre, R., Neveu, C. et Salles, D. (Eds.), Paris : GIS Démocratie et Participation. Disponible à : <http://www.dicopart.fr/es/dico/co-construction>.
- Alfaia, S.S., Ribeiro, G.A., Nobre, A.D., Luizão, R., C. et Luizão, F.J. (2004). Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazônia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 102 (3) : 409-414.
- Alfsen, H., De Franco, M.A., Glomsr, S. et Johnsen, T. (1996) The cost of soil erosion in Nicaragua. *Ecological Economics*, 16 : 129-145.
- Almeida, A.L.O. et Campari, J.S. (1995). *Sustainable Settlement in the Brazilian Amazon*. Oxford: Oxford University Press.
- Altieri, M.A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2 (1) : 35-42.
- Altieri, M.A. et Nicholls, C.I. (2012). « Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency ». Dans *Sustainable Agriculture Reviews*, 11, Lichtfouse (Ed.), p. 1-29, Springer.
- Altieri, M.A et Toledo, V.M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies*, 38 (3) : 587-612.
- Alves, R.E., Bezerra, M.A., de Miranda et F.R. Silva, H. (2009). Acerola. Chapitre 1 dans *Fruteiras tropicais do Brasil*, Crisóstomo A.C et Naumov A.N. (Eds.), p. 13-30.

- Anadón, M. (2005). Participation, pouvoir et contrôle de l'action. Dans *Éducation et Environnement - Un croisement de savoirs*, Sauvé, L., Orellana, I. et Van Steenberghe, É. (Eds.), Les Cahiers scientifiques de l'ACFAS (Association francophone pour le savoir), p. 164-173.
- Apache. (2015). OpenOffice.
- Arkcoll, D. (1990). New crops from Brazil. In: *Advances in new crops*, Janick, J. et Simon, J.E. (eds.), Timber Press, Portland, OR. p. 367-371.
- Armitage, D.R., Plummer, R., Berkes, F., Arthur, R.I., Charles, A.T., Davidson-Hunt, I.J., Diduck, A.P., Doubleday, N.C., Johnson, D.S., Marschke, M., McConney, P., Pinkerton, E.W. et Wollenberg, E.K. (2009). Adaptive co-management for social-ecological complexity. Review. *Frontier in Ecology and the Environment*, 7 (2) : 95-102.
- Augustinho, L.M., Prado, R de Mello, Rozane, D.E. et Freitas, N. (2008). *O acúmulo da massa seca e marcha de absorção de nutrientes em mudas de goiabeira "pedro sato"*. Bragantia, Campinas, 67 (3): 577-585.
- Azevêdo, C.L.L. (2007). *Produção Integrada de Citros – BA*. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Disponible à :
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosBahia2ed/index.htm>
- Bally, I.S.E. (2006). *Mangifera indica* (mango) Anacardiaceae (cashew family). *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*, 25 p.
- Baraloto, C. Forget, P.-M. et Gorlberg, D.R. (2005). Seed mass, seedling size and neotropical tree seedling establishment. *Journal of Ecology*, 93: 1156-1166.
- Barbosa, Z., Soares, I. et Crisotomo, L.A. (2003). Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de graviola. *Rev. Bras. Frutic.*, 25 (3): 519-522.
- Barboza, S.B.S.C., Tavares, E.D. et de Melo, M.B. (1996). Instruções para o cultivo da acerola. Aracaju: EMBRAPA-CPATC, *Circular Técnica*, 642 p.
- Barrios, E. et Trejob, M.T. (2003). Implications of local soil knowledge for integrated soil management in Latin America. *Geoderma*, 111, 217-231.
- Barth, F. (1995). Other knowledge and Other Ways of Knowing. *Journal of Anthropological research*, 51 (1) : 65-66.

- Barth, F. (2002). An Anthropology of Knowledge. *Current anthropology*, 43 (1), 18 p.
- Barthélémy, C. (2005). Les savoirs locaux : entre connaissances et reconnaissance. *Vertigo*, 6 (1), 6 p.
- Bataglia, O.C. et Santos, W.R. (2001). Estado nutricional de plantas perenes: avaliação e monitoramento. *Informações agronômicas*, 96 : 1-8.
- Batista, M.M.F, Viégas, I.J.M., Frazao, D.A.C, Thomaz, M.A.A. et da Silva, R.C.L. (2003). Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata*). *Rev. Bras. Frutic.* 25 (2) : 315-318.
- Batista, M.P. et Woessner, R.A. (1980). Comparação do incremento altura e diâmetro de espécies nativas e exóticas no Nordeste do Pará, Brasil. *Floresta*, 11 : 24-32.
- Bauch, S.C., Birkenbach, A.M., Pattanayak, S.K. et Sills, E.O. (2015). Public health. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (24) : 7414 -7419.
- Béliveau, A. Lucotte, M., Davidson, R. et Paquet, S. (2009). Early Hg mobility in cultivated tropical soils one year after slash-and-burn of the primary forest, in the Brazilian Amazon. *Science of the Total Environment*, 407 : 4480-4489.
- Béliveau, A., Davidson, R., Lucotte, M., do Canto Lopes, O., Paquet, S. et Vasseur, C. (2015). Early effects of slash-and-burn cultivation on soil physicochemical properties of small-scale farms in the Tapajós region, Brazilian Amazon. *Journal of Agricultural Science*, 153 : 205-221.
- Benhin, J.K.A. (2006). Agriculture and Deforestation in the Tropics: A Critical Theoretical and Empirical Review. *Ambio*, 35 (1) : 9-16.
- Benítez-Malvido, J., Martinez-Ramos, M., Carmargo, J.LC. et Ferraz, I.D.K. (2005). Response of seedling transplants to environmental variations in contrasting habitats of Central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*, 21 (4) : 397-406.
- Berçot, M. (2009). Uma questão de perspectiva: os enfoques especialista e local sobre o contexto de saúde e ambiente na região do meio Tapajós, Amazônia Brasileira, Dissertação de Mestrado de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 139 p.

- Bergmann, C., Stuhmann, M. et Zech, W. (1994). Site factors, foliar nutrient levels and growth of *Cordia alliodora* plantations in the humid lowlands of Northern Costa Rica. *Plant and Soil*, 166 : 193-202.
- Berkes, F. (2009). Evolution of co-management : Role of knowledge generation, bridging organizations and social learning. Review. *Journal of Environmental Management*, 90 : 1692-1702.
- Blais, M. et Martineau, S. (2007). L'analyse inductive générale : description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes. *Recherches Qualitatives*, 26 (2) : 1-18.
- Blanton, C. M et Ewel, J.J. (1985). Leaf-Cutting Ant Herbivory in Successional and Agricultural Tropical Ecosystems. *Ecology*, 66 (3) : 861-869.
- Bodin, Ö., Crona, B. et H. Ernstson. (2006). Social networks in natural resource management: What is there to learn from a structural perspective? *Ecology and Society* 11 (2): r2. Disponible à : <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/resp2/>
- Bolfe, E.L. et Batistella, M. (2011). Análise florística e estrutural de sistemas silviagrícolas em Tomé-Açu, Pará. *Esq. agropec. bras.*, Brasília, 46 (10) : 1139-1147.
- Borges, A.L., Souza, L.S. et Oliveira, A.M.G. (2009). Banana. Chapitre 2 dans *Fruteiras tropicais Brasil*, Crisóstomo A.C. et Naumov, A.N. (Eds.), p. 31-49.
- Brady, N.C. et Weil, R.R. (2002). *The Nature and Properties of Soils*, 13^e édition. Upper Saddle River, USA: Pearson Education, Inc.
- Branch, L.C. et da Silva, M.F. (1983). Folk medicine in Alter do Chão. *Acta Amazonica*, 13 (5-6) : 737-397.
- Bruijnzeel, L.A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104 : 185-228.
- Brunner, I. et Sperisen, S. (2013). Aluminum exclusion and aluminum tolerance in woody plants. Review article. *Frontiers in Plant Science*, 4 (1) : 1-12.
- Buainain, A.M. et Batalha, M.O. (2007). *Cadeia produtiva de frutas*. Série agronegócio. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA Secretaria de Política Agrícola - SPA Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, vol. 7, 102 p.

- Cakmak, I. (2005). Role of Mineral Nutrients in Tolerance of Crop Plants to Environmental Stress Factors. - Dans *Proceedings from the International Symposium on Fertigation Optimizing the Utilization of Water and Nutrients*. p. 35-48, International Potash Institute.
- Calvo-Alvarado, J.C., Arias, D. et Richter, D.D. (2007). Early growth performance of native and introduced fast growing tree species in wet to sub-humid climates of the Southern region of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 242 : 227-235.
- CARUSO. (2016). Site web du projet Caruso.
https://unites.uqam.ca/gmf/caruso/caruso_home.htm
- Carvalho, K.S, Balch, J. et Moutinho, P. (2012). Influências de *Atta* spp. (Hymenoptera: Formicidae) na recuperação da vegetação pós-fogo em floresta de transição amazônica. *Acta Amazonica*, 42 (1) : 81-88.
- Carvalho, P.E.R. (2003). Espécies arboréas nativas : silvicultura e usos. Embrapa, 6 p.
- Castro, M. et Singer, B.H. (2012). Agricultural settlement and soil quality in the Brazilian Amazon. *Popul Environ*, 34 : 22-43.
- Chapin, F.S. (1980). *The Mineral Nutrition of Wild Plants*. 3^e édition. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11 : 233-260.
- Chaplot, V. et Le Bissonnais, Y. (2000). Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25 : 145-153.
- Charrier, A., Jacquot, M., Hamon, S. et Nicolas, D. (1997). *L'amélioration des plantes tropicales*. Repères, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) et Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (Orstom), 625 p.
- Chavez, N. (2007). *Cultivo da Castanha-do-Brasil*. Dossiê Técnico. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade de Brasília – CDT/UnB, 22 p.
- Chenerey, E. et Sporne, K.R. (1976). A note on the evolutionary status of aluminum tors among dicotyledons. *New Phytol*, 76 : 551-554.

- Christanty, L. (1986). « Shifting Cultivation and Tropical Soils: Patterns, Problems and Possible Improvements ». Dans *Traditional Agriculture in Southeast Asia: A Human Ecology Perspective*, sous la direction de G.G. Marten, Boulder, USA : Westview Press, p. 226-240.
- Chuenpagdee, R. et Jentoft, S. (2007). Step zero for fisheries co-management: What precedes implementation. *Marine Policy*, 31 : 657-668.
- Cochrane, T.T. et Cochrane, T.A. (2006). Diversity of the Land Resources in the Amazonian State of Rondônia, Brazil, *Acta Amazonica*, 36 (1) : 91-102.
- Cochrane, T.T. et Sánchez. P.A. (1982). Land resources, soils and their management in the Amazon region: a state of knowledge report. Dans *Agriculture and Land Use Research*, Proceedings of the International Conference on Amazonian Agriculture and Land Use Research. Amazonia. CIAT series 03E-3(82), S. Hecht (Ed.), Cali, Colombia. p. 137-209.
- Coelho, A, Silva, M et Nascimento, N. (2013). *O Estado do Pará no Contexto do Desmatamento*. Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará, 19 p.
- Coelho, A, Silva, M et Nascimento, N. (2013). *O Estado do Pará no Contexto do Desmatamento*. Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará, 19 p.
- Condé, T.M., de Lima, M.L.M., Neto, E.M. de Lima et Tonini, T. (2013). Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. *Revista Agro@mbiente On-line*, 7 (1) :18-27.
- Contreras-Calderón, J., Calderón-Jaimes, L., Guerra-Hernández, E. et García-Villanova, B. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44 : 2047-2053.
- Cornwall, A. et Jewkes. R. (1995). What is participatory research ? *Social Science and Medicine*, 41 (12) : 1667-1676.
- Costa, J.R. et Mitja, D. (2010). Uso dos recursos vegetais por agricultores familiares de Manacapuru (AM). *Acta Amazonica*, 40 (1) : 49-58.

- Costa, J.R., Castro, A.B.C., Wandelli, E.V., Cora, S.C.T. et Souza, S.A.G. (2009) Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 39 (4) : 843-850.
- Cotta, J.M., Kainer, K.A., Wadt, H.O. et Staudhammer, C.L. (2008). Shifting cultivation effects on Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) regeneration. *Forest Ecology and Management*, 256 : 28-35.
- Coura, J.R. (2010). Review Chagas disease: 100 years after its discovery. A systemic review. *Acta Tropica*, 115 : 5-13.
- Coura, J.R. (2010). The main sceneries of Chagas disease transmission. The vectors, blood and oral transmissions - A comprehensive review, *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 110 (3) : 277-282.
- Cunha, T.J.F., Madari, B.E., Canellas, L.P., Ribeiro, L.P., Benites, V.M. et Santos, G.A. (2009). Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de índio) in the Brazilian Amazon basin. *R. Bras. Ci. Solo*, 33 : 85-93.
- da Costa Azevedo, G.F. (2014) Photosynthetic parameters and growth in seedlings of *Bertholletia excelsa* and *Carapa guianensis* in response to pre-acclimation to full sunlight and mild water stress. *Acta Amazonica*, 44 (1) : 67-78.
- da Silva, E.E.G., Cavalcante, L.R., de Oliveira, F de Assis et de Lima, E.M. (1999). Avaliação do estado nutricional através da análise foliar e caracterização de frutos de gravioleira comum (*Annona muricata* L.) no Littoral Paraibano. *Agropecuária técnica*, 20 (2) : 52-57.
- da Silva, S.E.L. et Garcia, T.B. (1999). A cultura da gravioleira (*Annona muricata* L.). *Documentos*, 4, Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 19 p.
- Davidson, R., Gagnon, D., Mauffette, Y. et Hernandez, H. (1998). Early survival, growth and foliar nutrients in native Ecuadorian trees planted on degraded volcanic soil. *Forest Ecology and Management*, 105 : 1-19.
- de Espindola, G.M, Aguiar, A.P.D., Pebesma, E., Câmara, G. et Fonseca, L. (2012). Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. *Applied Geography*, 32 : 240-252.
- de Mello, N.A. et Théry, H. (2003). L'État brésilien et l'environnement en Amazonie : évolutions, contradictions et conflits. *L'Espace Géographique* 1 : 3-20.

- de Oliveira, M.S.P, Carvalho, J.E.U., Nascimento, W.M.O. et Müller, C.H. (2002). *Cultivo do Açaizeiro para Produção de Frutos*, Circular técnica 26, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Belém, PA, 18 p.
- de Oliveira, M.S.P. et Neto, J.T.F. (2004). *Cultivar BRS-Pará: Açaizeiro para Produção de Frutos em Terra Firme*. Comunicado técnico 114, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, 3 p.
- De Resende, A.V. (2005). *Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas*. Série Estudos e Documentos. Centro de tecnologia mineral. Ministério de Ciências e Tecnologia. 36 p.
- de Sartre, X.A., Albaladejo, C., Martins, P, Veiga, I. et Grimaldi, M. (2005). Identification et évaluation de la diversité des modes d'exploitation des milieux en Amazonie orientale. *Cahiers Agricultures*, 14 : 85-89.
- de Sousa, C.R., Lima, R.M.B., Azevedo, C.P. et Rossi, L.M.B. (2006). *Andiroba (Carapa guianensis Aubl.)*. Documentos 48, Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Manaus, AM, 21 p.
- Della-Flora, J.B., Durlo, M.A. et S.P. (2004). Modelo de incremento para arvores singulares – Nextandra megapotamica (Spreng.). *Ciência Florestal*, 14 (1) : 165-177.
- Dupraz, C. (1999) Adequate design of control treatments in long term agroforestry experiments with multiple objectives. *Agroforestry Systems*, 43 : 35-48.
- Embrapa Amazônia Oriental, 2007. Solos. Área de influencia da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém). Documento no 332. Dans *Zoneamento ecológico-econômico da área de influencia da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém)*. Disponible à : <http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php>
- Enters, T. (1998). Methods for the economic assessment of the on- and off-site impacts of soil erosion. International Board for Soil Research and Management. *Issues in Sustainable Land Management*, no 2, Bangkok: IBSRAM.
- Ernstson, H., Sörlin, S. et Elmqvist, T. (2008). Social movements and ecosystem services – the role of social network structure in protecting and managing urban green areas in Stockholm. *Ecology and Society* 13 (2) : 39.
- Fallery, B. et Rodhain, F. (2013). Quatre approches pour l'analyse de données textuelles : lexicale, linguistique, cognitive, thématique. XVI^{ème} Conférence de l'Association Internationale de Management Stratégique AIMS, 2007, Montréal, Canada. AIMS, p. 1-16.

- Farella, N, Davidson, R., Lucotte M. et Daigle, S. (2007). Nutrient and mercury variations in soils from family farms of the Tapajós region (Brazilian Amazon) : Recommendations for better farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120 : 449-462.
- Farella, N, Lucotte, M, Louchouart, P. et Roulet, M. (2001). Deforestation modifying terrestrial organic transport in the rio Tapajós, Brazilian Amazon. *Organic Geochemistry*, 32 : 1443-1458.
- Farella, N. 1998. Impacts du déboisement sur les sols et les sédiments de la région du Rio Tapajós (Amazonie brésilienne) illustrés par des biomarqueurs. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de l'environnement, Montréal, Université du Québec à Montréal, 179 p.
- Farella, N., Davidson, R., Lucotte, M. et Daigle, S. (2006). Mercury release from deforested soils triggered by cation enrichment. *Science of the Total Environment*, 368 : 19-29.
- Farji-Brenner, A.G. (2001). Why are leaf-cutting ants more common in early secondary forests than in old-growth tropical forests? An evaluation of the palatable forage hypothesis. *OIKOS*, 92 : 169-177.
- Fatorelli, L. et Mertens, F. (2010). Integração de políticas e governança ambiental: o caso do licenciamento rural do Brasil. *Ambiente & Sociedade*, 8 (2) : 16 p.
- Fearnside, P.M. (2001). Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation*, 28 (1) : 23-28
- Fearnside, P.M. (2002). Avança Brasil: Environmental and Social Consequences of Brazil's Planned Infrastructure in Amazonia. *Environmental Management*, 30 (6) : 735-747.
- Fearnside, P.M. (1999). Biodiversity as an environmental service in Brazil's Amazonian forests: risks, value and conservation. *Environmental Conservation*, 26 : 305-321.
- Fearnside, P.M. (2008). The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. *Ecology and Society*, 13 (1) : 23.
- Fernandes, F.M. et do Nascimento, V.M. (2004). Fertilidade do solo e nutrição da mangueira. In *Manga - Produção Integrada, Industrialização e Comercialização*, p. 179-197.

- Ferreira, S.A.N et Gentil, D.F.O. (1999). *Araza (Eugenia stipitata). Cultivo y utilizacion*. Manual técnico. Tratado de Cooperación Amazónica, Secretaria Pro Tempore, 92 p.
- Fillion, M., Mergler, D., Passos, C.J.S., Larribe, F., Lemire, M. et Guimarães, J.R.D. (2006). A preliminary study of mercury exposure and blood pressure in the Brazilian Amazon. *Env Health*, 5 : 29.
- Fischer, A. et Vasseur, L., (2002). Smallholder perceptions of agroforestry projects in Panama. *Agroforestry systems*. 54 : 103-113.
- Fitzjarrald, D.R., Sakai, R.K., Moraes, O.L.L., Cosme de Oliveira, R., Acevedo, R.O., Czikowsky, M.J. et Beldini, T. (2008). Spatial and temporal rainfall variability near the Amazon-Tapajós confluence. *Journal of Geophysical Research*, 113 : 1-17.
- Foy, C.D., Chaney, R.L. et White, M.C. (1978). The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol*, 29 : 511-66.
- Franck, I. L. (1999). *Principais usos e serviços de arvores e arbustos promissores que ocorrem em pastagens no estado do Acre*. Comunicado técnico. Embrapa, 106 : 1-6.
- Franzel, S., Coe, R., Cooper, P., Place, F. et Scherr, S.J. (1995). Assessing the adoption potential of agroforestry practices in sub-Saharan Africa. *Agricultural Systems*, 69 (2001) : 37-62.
- Freire, A.S.C., Vitorino, M.I., Gonçalves Jardim, M.A., de Sousa, A.M.L., Quaresma, A.M.L., de Oliveira, F.G. et Pereira, R.N. (2013). Analysis of the Establishment of Seedlings of Açaí (*Euterpe Oleracea* Mart.) in the Understory of a Forest of Amazon Floodplain. *Earth Interaction*, 17 (9) : 1-11.
- Fujisaka, S. (1989). The need to build upon farmer practice and knowledge: reminders from selected upland conservation projects and policies. *Agroforestry Systems*, 9 : 141-153.
- Gajalakshmi, S., Vijayalakshmi, S et Devi Rajeswari, V. (2012). Phytochemical and pharmacological properties of *Annona muricata*: A review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4 (2) : 3-6

- Galvão, E.U.P, Cravo, M.S., Nogueira, O.L. et Shimizu, M.K. (2008). *Sistema Bragantino para a Agricultura Familiar. Passo a passo*. Embrapa Amazônia Oriental, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Belém, PA, 38 p. Disponible en ligne : http://www.cpatu.embrapa.br/publicacoes_online
- Gilman, E.F. (2013). *Malpighia glabra* Barbados Cherry. University of Florida. IFAS extension. Disponible à : <http://edis.ifas.ufl.edu/fp390>.
- Glendinning, A., Mahapatra, A. et Mitchell, C.P. (2001). Modes of Communication and Effectiveness of Agroforestry Extension in Eastern India. *Human Ecology*, 29 (3) : 283-305.
- Godelier, M. (1984). *L'Idéal et le Matériel*. Pensée, économies sociétés, Paris : Fayard, 348 p.
- Gonçalves, D.C.M, Gama, J.R.V., Oliveira, F. de Assis, de Oliveira Jr., R.C., Araújo, G.C. et de Almeida, L.S. (2012). Aspectos Mercadológicos dos Produtos não Madeireiros na Economia de Santarém-Pará, Brasil. *Floresta e Ambiente*, 19 (1) : 1-8.
- Gonçalves, J.F.C, da Silva, C.E.M. et Guimarães, D.G. (2009). Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44 (1) : 18-14.
- Grandmont, É. (2001). *Analyse des teneurs en mercure sur différentes fractions granulométriques de sols amazoniens. Version révisée*. Activité de synthèse. Université du Québec à Montréal. Montréal, 13 p.
- Gray, A.N et Spies T.A. (1997). Microsite controls on tree seedling establishment in conifer forest canopy gaps. *Ecology*, 78(18) : 2458-2473.
- Guest, G., Namey, E.E. et Mitchell, M.L. (2013). Collecting qualitative data : a field manual for applied research. États-Unis : SAGE Publications, 376 p.
- Haferkamp, M.R. (1988). Environmental factors affecting plant productivity, *Achieving Efficient use of rangeland resources*. Fort Keogh Research Symposium, sept. 1987. Miles City, MT., White, R.S. and Short, R.E. (Eds), Montana Agr. Exp. Sta., Bozeman, p. 27-36.
- Hall, J.S, Love, B.E., Garen, E.J., Slusser, J.L., Saltonstall, K., Mathias, S., Breugel, M.V., Ibarra, D.I., Bork, E.W., Spaner, D., Wishnie, M.H. et Ashton, M.S. (2011). Tree plantations on farms: Evaluating growth and potential for success. *Forest Ecology and Management*, 261: 1675-1683.

- Hamada, N, Gomes, A.L.S., Couturier, G. et Ronchi-Teles, B. (1998). Insetos associados a gravioleira (*Annona muricata* L., Annonaceae) na região de Manaus, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 28 (4) : 425-431.
- Harada, M., Nakanishi, J., Yasoda, E., da Conceição, M, Pinheiro, N., Oikawa, T., Guimarães, G. de A., Cardoso, B. da S., Kizaki, T et Ohno, H. (2001). Mercury pollution in the Tapajos River basin, Amazon Mercury level of head hair and health effects. *Environment International*, 27 : 285-290.
- Hecht, S. (1995). *The evolution of agroecological thoughts*. Dans *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*, 2nd edition, sous la direction de M. Altieri, p. 1-19, Berkeley, USA : Westview Press.
- Hendershot, W.H., Lalonde, H et Duquette, M. (1993). « Ion exchange and exchangeable cations ». Dans *Soil sampling and methods of analysis*, sous la direction de M.R. Carter, p. 167-176. USA : Lewis Publishers.
- Holmes, K. W., Kyriakidis, P.C., Chadwick, O.A. Soares, J.V. et Roberts. D.A. (2005). Multi-scale variability in tropical soil nutrients following land-cover change. *Biogeochemistry*, 74(2) : 173-203.
- Hölsher, D., Ludwig, B., Moller, R. F. et Folster, H. (1997). Dynamic of soil chemical parameters in shifting agriculture in the Eastern Amazon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 66 : 153-163.
- Hornung-Leoni, C.T. (2011). Bromeliads: traditional plant food in Latin America since Prehispanic times. *Polybotanica*, 32 : 219-329.
- INMET – Instituto nacional de meteorologia. (2015). <http://www.inmet.gov.br/portal/>
- Islam, K.R. et Weil, R.R. (2000). Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 79 : 9-16.
- Jordan, C.F. (1985). Soils of the Amazon rainforest. Dans *Key Environments. Amazonia*, G.T. Prance and Lovejoy, T.E. (Eds.), Oxford: Pergamon Press. p. 83-94.
- Junk, W.J. (1997). General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian Floodplains. Dans *Ecological Studies, The Central Amazon floodplain*, 126, Junk, W.J. (Ed.), Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, p. 3-20.
- Kanten, R.V. et Beer, J. (2005). Production and phenology of the fruit shrub *Eugenia stipitata* in agroforestry systems in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 64 : 203-209.

- Kenne, M., Corbara, B. et Dejean, A. (1999). Impact des fourmis sur les plantes cultivées en milieu tropical. *Ann & Bipl.* 38 : 195-212.
- Kincaid, D.L. (2004). From Innovation to Social Norm: Bounded Normative Influence. *Journal of Health Communication*, 9 : 37-57.
- Klimas, C.A. Kainer, K.A. et Wadt, L.H.O. (2012). The economic value of sustainable seed and timber harvests of multi-use species: An example. Control of *Carapa guianensis* phenology and seed production at multiple scales: a five-year study exploring the influences of tree attributes, habitat heterogeneity and climate cues. *Forest Ecology and Management*, 268 : 81-91.
- Klimas, C.A., Kainer, K.A. et Wadt, L.H.O. (2007). Population structure of *Carapa guianensis* in two forest types in the southwestern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 250 : 256-265.
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land degradation & development*, 12 : 519-539.
- Lauber, T.B., Decker, D.J. et Knuth, B. (2008). Social Networks and Community-Based Natural Resource Management. *Environmental Management*, 42 : 677-687.
- Laurance, W.F. (2000). Mega-development trends in the Amazon: implications for global change. *Environmental monitoring and assessment*, 61 : 113-122.
- Le Tourneau, J.M. et Bursztyn, M. (2010). Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária e a política ambiental. *Ambiente & Sociedade*, 8 (1) : 111-130.
- Lebel, J., Roulet, M., Mergler, D., Lucotte, M. et Larribe, F. (1997). Fish diet and mercury exposure in a riparian Amazonian population. *Water, Air and Soil Pollution*, 97 : 31-44.
- Leblanc, H.A., Nygren, P. et McGraw, R.L. (2006). Green mulch decomposition and nitrogen release from leaves of two *Inga* spp. in an organic alley-cropping practice in the humid tropics *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 349-358.
- Ledermann, T., K. Herweg, H.P. Liniger, F. Schneider, H. Hurni et V. Prasuhn. (2010). Applying erosion damage mapping to assess and quantify off-site effects on soil erosion in Switzerland. *Land degradation & development*, 21 : 353-366.

- Lemessa, D, Hylander, K. et Hambäck, P. (2013). Composition of crops and land-use types in relation to crop raiding pattern at different distances from forests. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 167 : 71-78.
- Lévi-Strauss, C. (1962). *La Pensée Sauvage*. Paris : Plon, 395 p.
- Lima, H.N., Schaefer, C.E.R., Mello, J.W.V., Gilkes, R.J. et Ker, J.C. (2002). Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") of Western Amazonia. *Geoderma*, 110 : 1-17.
- Lloyd, C.R. (1990). The temporal distribution of Amazonian rainfall and its implications for forest interception. *Q.J.R .Meteorol. Soc.*, 116 : 1487-1494.
- Locatelli, M., Cavalcante, P.T., Martins, E.P., Vieira, A.H. et Souza, V.F. (2007). Silvicultural characteristics of Brazil nut-plantation in consortium in area of small producer in Porto Velho, Rondônia, Brazil. *Rev. Bras. de Agroecologia*, 2 (2) : 1103-1106.
- Lojka, B, Preininger, D., Van Damme, P., Rollo, A. et Banout, J. (2012). Use of the Amazonian tree species *Inga edulis* for soil regeneration and weed control. *Journal of Tropical Forest Science*, 24 (1) : 89-101.
- Lojka, B., Dumas, L., Preininger, D, Polesny, Z. et Banout, J. (2010). The use and integration of *Inga edulis* in agroforestry systems in the Amazon – Review article. *Agricultural tropica and subtropica. Journal of Tropical Forest Science*, 243 (4) : 353-359.
- Lojka, B., Preininger, D., Van Damme, P., Rollo, A. et Banout, J. (2012). Use of the Amazonian tree species *Inga edulis* for soil regeneration and weed control.
- Long, A.J. et Nair, P.K.R. (1999). Trees outside forests: agro-, community, and urban forestry. *New Forests*, 17 : 145-174.
- Lü, Y., Fu, B., Chen, L., Liu, G. et Wei, W. (2007). Nutrient transport associated with water erosion: progress and prospect. *Progress in Physical Geography*, 31, p. 607.
- Lucotte, M. et d'Anglejan, B. (1985). A comparison of several methods for the determination of iron hydroxides and associated orthophosphates in estuarine particulate matter. *Chemical Geology*, 48 : 257-264.
- Magalhães, A.F.J. (2006). Nutrição mineral e adubação dos citros irrigados. *Circular Técnica* 79. Embrapa, 12 p.

- Mahar, D.J. (1989). *Government policies and deforestation in Brazil's Amazon region*. The World Bank, Washington, (D.C.), 56 p.
- Mainville, N., Webb, J., Lucotte, M., Davidson, R., Betancourt, O., Cueva, E. et Mergler, D. (2006). Decrease of soil fertility and release of mercury following deforestation in the Andean Amazon, Napo River valley, Ecuador. *The Science of the Total Environment*, 368 : 88-98.
- Major, J., Ditommaso, A., German, L.A. et McCann, J.M. (2003). Weed population dynamics and management on Amazonian Dark Earth. Chapitre 22 dans *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*, Lehmann, J., Kern, D.C., Glaser, B. and Woods, W.I. (Eds.), Kluwer Academic Publishers. Netherlands, p. 433-454.
- Manfio, D., Rodrigues, M.N.F., Savi, G.D. et Scussel, V.M. (2012). Brazil Nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K.) Selenium Distribution and Physical Chemical Characteristics of Shell, Brown Skin and Edible Part from Two Amazon Regions, *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 2 (2) : 292-298.
- Marengo, J.A., Borma, L.S., Rodriguez, D.A., Pinho, P.S, Wagner, R.A. et Lincoln, M. (2013). Recent Extremes of drought and flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptations. *American Journal of Climate Change*. 2 : 87-96.
- Marengo, J.A., Tomasella, J., Lincoln, M.A., Wagner, R.S. et Rodriguez, D.A. (2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical research letters*, 38, 5 p.
- Margulis, S. (2004). *Causes of Deforestation of the Brazilian Amazon*. World Bank Working Paper no 22, Washington, DC, 77 p.
- Markewitz, D., Davidson, E.A., Figueiredo, R. de O., Victori R.L. et Krusche. A.V. (2001). Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. *Nature*, 410 : 802-805.
- Markewitz, D., Davidson, E.A., Moutinho, P. et Nepstad, D. (2004). Nutrient loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. *Ecological Applications*, 14 (4), Supplement : 177-199.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition*. Institute of Plant Nutrition University of Hohenheim Germany. Academic Press. 862 p.

- Mattos Jr. D., Yamana, D.R., Boaretto, R. M., Zambrosi, F.C.B. et Quaggio, J.A. (2012). Nutrient management for high citrus fruit yield in tropical soils. *Better crops*, 96 (1) : 4-7.
- Mattos Jr., D. Yamana, D.R., Boaretto, R.M., Zambrosi, C.B. et Quaggio, J.A. (2010). *Root development of young citrus trees in soil fertilized with phosphorus*. 19st World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, August 1st-6th, 2010, Brisbane, Australia.
- Maurice-Bourgoin, L., Alanoca, L. Fraizy P. et Vauchel. P. (2003). **Sources of mercury in surface waters of the upper Madeira erosive basins, Bolivia.** *Journal De Physique. IV*, 107 (3) : 855-858.
- Maurice-Bourgoin, L., Ouiroga, I., Chincheros J. et Courau P. (2000). Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. *Science of the Total Environment*, 260 (1-3) : 73-86.
- Maynard, D.G. et Kalra, Y.P. (1993). « Nitrate and exchangeable ammonium nitrogen ». Dans *Soil Sampling and Methods of Analysis*, sous la direction de M. R. Carter, p. 25-38. U.S.A.: Lewis Publishers.
- McDonald., M.A., Healey, J.R. et Stevens, P.A. (2002). The effects of secondary forest clearance and subsequent land-use on erosion losses and soil properties in the Blue Mountains of Jamaica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 92 : 1-19.
- McGrath, D.A., Smith, K.C., Gholz, H.L. et Oliveira, F. de A. (2001). Effects of Land-Use Change on Soil Nutrient Dynamics in Amazônia. *Ecosystems*, 4 : 625-646.
- Medeiros D.B., Ciriaco, E.D.S., Santos, H.R.B., Pacheco, C.M., Musser, R.S. et Nogueira, R.J.M.C (2012). Physiological and biochemical responses to drought stress in Barbados cherry. *Braz. J. Plant Physiol.*, 24 (3) : 181-192.
- Mendel, K. (1969). *The influence of temperature and light on the vegetative development of citrus trees*. Proc. 1st int. Citrus Symp., Riverside, 1 : 259-265.
- Mendivelso, H.A., Camarero, J.J., Gutiérrez, E. et Zuidema, P.A. (2014). Time-dependent effects of climate and drought on tree growth in a Neotropical dry forest: Short-term tolerance vs. long-term sensitivity. *Agricultural and Forest Meteorology*, 188 : 13-23.

- Mendonça, A.P. et Ferraz, I. (2007). Óleo de andiroba: processo tradicional da extração, uso e aspectos sociais no estado do Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 37 (3) : 353-364.
- MEQ – Ministère de l'Environnement du Québec. (2003). *Méthode d'analyse. Détermination de la granulométrie dans les sols agricoles et les sédiments : méthode Bouyoucos*. Édition 2003-12-11. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Québec, 16 p.
- Mercer, D.E. (2004). Adoption of agroforestry innovations in the tropics: A review. *Agroforestry Systems*, 204411 : 311-328.
- Mergler, D., Anderson, H.A., Chan, L.H.M., Mahaffey, K.R., Murray, M., Sakamoto, M et Stern, A.H. (2007). Methylmercury Exposure and Health Effects in Humans: A Worldwide Concern. *Ambio*, 36 (1) : 9 p.
- Mertens, F., Saint-Charles, J., Mergler, D., Passos, C.J. et Lucotte, M. (2005). Network Approach for Analyzing and Promoting Equity in Participatory Ecohealth Research. *EcoHealth*, 2 : 1-15.
- Microcomputer Power. Canoco 4.56. Statistics software. Ithaca, NY, USA.
- Myers, G.P., Newton, A.C. et Melgarejo, O. (2000). The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia, *Forest Ecology and Management*, 127 : 119-128.
- Nascimento, A.K.S., Fernandes, P.D., Suassuna, J.F., de Oliveira, A.C.M., Sousa, M.S. da Silva et Melo, C.A.C. (2012). Tolância de genótipos e citros ao estresse hídrico na fase de porta-enxerto. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 6 (1) : 14-22.
- Nepstad, D., Capobianco, J.P., Barros, A.C., Carvalho, G., Moutinho, P., Lopes, U. et Lefebvre, P. (2000). *Avança Brasil: Os custos ambientais para a Amazônia, IPAM and Instituto Socioambiental. Cenários Futuros para a Amazônia*. Project report. Belém, Brazil, Gráfica e Editora Alves, 24 p.
- Neves, O.S.C, Benedito, D.S, Machado, R.V et de Carvalho, J.G. (2004). Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fósforo. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 28 (3) : 343-349.

- Nguyen, H., Lamb, D., Herbohn, J. et Firn, J. (2014). Designing Mixed Species Tree Plantations for the Tropics: Balancing Ecological Attributes of Species with Landholder Preferences in the Philippines. *Plos One*, 9 (4), 11 p.
- Noldt, G., Kuhn, A.J., Schröder, W.H. et Bauch, J. (2000). *Structure of Fine Roots of Carapa guianensis Aubl. and their Uptake of Mineral Elements*. German-Brazilian Workshop on Neotropical Ecosystems – Achievements and Prospects of Cooperative Research Hamburg, Sept. 3-8.
- Nussbaum, R., Anderson, J. et Spencer, T. (1995). Factors limiting the growth of indigenous tree seedlings planted on degraded rainforest soils in Sabah, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 74 : 149-159.
- Nye, P.H. et Greenland, D.J. (1964). Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant and Soil*, 21 (1) : 101-112.
- Oestreicher, J.S. (2011). Carte de la région d'étude
- Oestreicher, J.S. (2016). Dimensions socio-écologiques des changements de paysage et des moyens de subsistence dans la région de la rivière Tapajós (Amazonie brésilienne) : Exposition des populations humaines au mercure et à l'agent pathogène de la maladie de Chagas. Thèse présentée comme exigence partielle du doctorat en sciences de l'environnement, Montréal, Université du Québec à Montréal, 513 p.
- Oestreicher, J.S. and Farella, N., Paquet, S., Davidson, R., Lucotte, M., Mertens, F. et Saint-Charles, J. (2014). Livelihood activities and land-use at a riparian frontier of the Brazilian Amazon: quantitative characterization and qualitative insights into the influence of knowledge, values, and beliefs. *Human Ecology*, 42 (4) : 521-540.
- Onyechi, Uchenna, A., Ibeanu, Vivienne, Nkiruka, Eme, Eze, P., Kelechi et Madubike. (2012). Nutrient, Phytochemical Composition and Sensory Evaluation of Soursop (*Annona muricata*) Pulp and Drink in South Eastern Nigeria. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 12 (6) : 53-57.
- Oracle (2012). MySQL.
- Oreszczyn, S., Lane, A. et Carr, S. (2010) The role of networks of practice and webs of influencers on farmers' engagement with and learning about agricultural innovations. *Journal of Rural Studies*, 26 : 404-417.

- Parolin, P. (2012). Diversity of adaptations to flooding in trees of Amazonian floodplains. *Pesquisas. Botânicas*, 63: 7-28.
- Parolin, P. et Wittmann, F. (2010) *Vigorous tree growth in a flooded environment: flood adaptations and tree diversity in Amazonian floodplain forests*. Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development, Tropentag, University of Hamburg, Oct. 6-8, 2009.
- Pasquis, R. et de Oliveira, L.M. (2007). La récupération des terres dégradées : un enjeu socio-environnemental prioritaire en Amazonie brésilienne. *Confins 1*. DOI: 10.4000/ confins.751. Disponible en ligne à : <http://confins.revues.org/751>
- Passos, C.J.S., Mergler, D., Gaspar, E., Morais, S., Lucotte, M., Larribe, F., Davidson, R. et de Grosbois, S. (2003). Eating tropical fruit reduces mercury exposure from fish consumption in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*, 93 : 123-130.
- Passos, C.J.S., Sampaio, D., Lemire, M., Fillion, M., Guimarães, J.R.D., Lucotte, M. et Mergler, D. (2008). Daily mercury intake in fish-eating populations in the Brazilian Amazon. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 18 : 76-87.
- Patry, C., Davidson, R., Lucotte, M. et Béliveau, A. (2013). Impact of forested fallows on fertility and mercury content in soils of the Tapajós River region, Brazilian Amazon. *Science of the Total Environment*, 458-460 : 228-237.
- Paul, M, Catterall, C.P., Pollards, P.C. et Kanowsko, J. (2010). Does soil variation between rainforest, pasture and different reforestation pathways affect the early growth of rainforest pioneer species? *Forest Ecology and Management*, 260 : 370-377.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. et McMahon, T.A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, 4 : 439-473.
- Pichet, P., Morrison, K. Rheault I. et Tremblay, A. (1999). Analysis of total mercury and methylmercury in environmental samples. Dans *Mercury in the biogeochemical cycle*, M. Lucotte, C. Langlois et A. Tremblay (Eds.), Berlin: Springer, p. 41-52.

- Pichet, P., Morrison, K., Rheault, I. et Tremblay, A. (1999). « Analysis of total mercury and methylmercury in environmental samples ». Dans *Mercury in the biogeochemical cycle*, sous la direction de Marc Lucotte, C. Langlois et A. Tremblay, p. 41-52. Berlin : Springer.
- Pinto, A.A., Teles, B.R., dos Anjos, N. et Couceiro, S.R.M. (2013). Predação de sementes de andiroba (*Carapa Guianensis* Aubl. e *Carapa procera* DC. (meliaceae)) por insetos na Amazônia. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 37 (6) : 1115-1123.
- Plummer, R. (2009). The Adaptative Co-Management Process: an Initial Synthesis of Representative Models and Influencial Variables. *Synthesis Ecology and Society*, 14 (2): 24.
- PLUPH (2016). Site web du projet *Poor Land use, Poor Health*. www.pluph.uqam.ca.
- Podwojewski, P., Janeau J.-L. et Leroux, Y. (2008). Effects of agricultural practices on the hydrodynamics of a deep tilled hardened volcanic ash – soil (Cangahua) in Ecuador. *Catena*, 72 : 179-190.
- Pollack, H., Mattos, M. et Uhl, C. (1996). *O perfil de extração de palmito no estuário amazônica*. Série Amazônia 3. Imazon. 38 p.
- Posey, D.A., Frechione, J., Eddins, J., da Silva, L.F., Myers, D., Case, D. et Macbeath, P. (1984). Ethnoecology as Applied Anthropology in Amazonian Development, *Human organization*, 43 (2) : 13 p.
- Puértolas, J, Gil, L. et Pardos, J.A. (2003). Effects of nutritional status and seedling size on field performance of *Pinus halepensis* planted on former arable land in the Mediterranean basin. *Forestry*, 76 (2) : 159-168.
- Queiroz Pinto, A.C. (2009b). Gravioleira. Chapitre 11 dans *Fruteiras tropicais Brasil*. Crisóstomo, L.A. et Naumov, A.N. (Eds), p. 206-222.
- Queiroz Pinto, A.C., Silva, D.J. et Pinto, P.A.C., (2009a). Mangueira. Chapitre 7 dans *Fruteiras tropicais do Brasil*. Crisóstomo, L.A. et Naumov, A.N. (Eds), p. 123-142.
- Quevedo Garcia, E. (1995). Aspectos agronomicos sobre el cultivo des araza (*Eugenia atipitata*) Frutal promisorio de la amazonia colombiana, *Agronomia Colombiana*, 6 (1) : 27-65.

- Raintree, J.B. (1983). Strategies for enhancing the adoptability of agroforestry innovations. *Agroforestry Systems*, 1 : 173-187.
- Rao, I.M, Friesen, D.K. et Osaki, M. (1999). Plant adaptation to phosphorus-limited tropical soils. In *Handbook of Plant and Crop Stress*, Pessarakli, M. (Ed.), New York: Marcel Dekker Inc. p. 61-95.
- Rassi Jr., A, Rassi, A. et Marin-Neto, J.A. (2010). Chagas disease. *The Lancet*, 375 : 1388-1402.
- Reardon, T. et Vosti, S. (1995). Links between rural poverty and the environment in developing countries: Asset categories and investment poverty. *World Development*, 23 (9) : 1495-1506.
- Reed, M.S. (2007). Participatory technology development for agroforestry extension: an innovation-decision approach. Review. *African Journal of Agricultural Research*, 2 (8) : 334-341.
- Reed, M.S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological Conservation*, 141 : 2417-2431.
- Reno, N.B., Siquiera, J.O., Curi, N. et do Vale, F.R. (1997). Limitações nutricionais ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em latossolo vermelho-amarelo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 32 (1) : 17-25.
- Rheault, I., Chen, S. Béliveau, A. et Patry, C. (2007). *Guide d'échantillonnage et des méthodes analytiques utilisées pour les sols provenant du Brésil*. GEOTOP-UQAM. Université du Québec à Montréal, Montréal, 21 p.
- Ribeiro Filho, A.A., Adams, C., Sergio, R. et Murrieta, S. (2013). The impacts of shifting cultivation on tropical forest soil: a review. *Bol. Mus. Pará. Emílio Goeldi. Cienc. Hum.*, Belém, 8 (3) : 693-727.
- Ribeiro, G.D. et Ferreira, M.G.R. (2008). *Comportamento inicial de duas fruteiras amazônicas e duas exóticas tropicais em Porto Velho, Rondônia: abiu gigante (Pouteria caimito (Ruiz & Pav.) Padlk), araçá-boi (eugenia stipitata Mc Vaugh), abricó (Mannia Americana Jacq.) e rambutan (Nephelium Lappaceum L.)*. Comunicado Técnico 335. Embrapa, Porto Velho, Rondônia, 6 p.
- Rocheleau, D. (1991). Participatory research in agroforestry: learning from experience and expanding our repertoire. *Agroforestry Systems*, 15 : 111-137.

- Rodrigues, A.L., Ewers, R.M., Parry, L., Souza Jr. C., Varissimo, A., et Balmford, A. (2009). Boom-and-Bust Development Patterns Accross the Amazon Deforestation Frontier. *Science*, 324 : 1435-1437.
- Rodrigues, E. (2006). Plants and animals used as medicines in the Jaú National Park (JNP), Brazilian Amazon. *Phytotherapy research*, 20 : 378-391.
- Romaña, C., Emperaire, L. et Jansen, A.M. (2003a). Conceptual approaches and methodological proposals for the study of interactions between environment and health: application to a research program on American trypanosomiasis. *Cadernos de Saúde Pública*, 19 (4) : 945-953.
- Romaña, C.A., Pizarro, J.C.N., Rodas, E. et Guilbert, E. (2003b). Palm trees as ecological indicators of risk areas for Chagas disease. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 93 (6) : 594-595.
- Roulet M., Lucotte, M., Canuel, R., Farella, N., Courcelles, M., Guimarães, J.R.D., Mergler, D. et Amorim, D. (2000). Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in the central Amazon. *Chem Geol*, 165 : 243-66.
- Roulet, M. et Lucotte, M. (1995). Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferrallitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. *Water, Air, and Soil Pollution*, 80 (1-4) : 1079-1088.
- Roulet, M., Lucotte, M., Farella, N., Serique, G., Coelho, H., Passos, C.J.S., Silva, E. de Jesus da, Scavone de Andrade, P., Mergler, D. et Amorim, M. (1999). Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution*, 112 : 297-313.
- Roulet, M., Lucotte, M., Saint-Aubin, M., Tran, S., Rheault, I., Farella, N., de Jesus da Silva, E., Dezencourt, J., Sousa Passos, C.J., Santos Soares, G., Guimarães, J.R., Mergler, D. et Amorim, M. (1998). The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará state, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 223 : 1-24.
- Rout, C.R., Samantaray, S. et Das, P. (2001). Aluminium toxicity in plants: a review. *Agronomie*, 21 : 3-21.

- Rozon, C., Lucotte, M., Davidson, R., Oestreicher, J.S., Paquet, S., Mertens, F., Passos, C. et Romana, C.A. (2015). Spatial and temporal evolution of land use in the Tapajós region of the Brazilian Amazon. *Acta Amazonica*, 45 (2) : 203-214.
- Rufino, M.C.M., Pérez-Jiménez, J. Arranz, S, Alves, R.E., Brito, E.S., Oliveira, M.S.P. et Saura-Calixto, F. (2011). Açaí (*Euterpe oleracea*) « BRS Pará »: A tropical fruit source of antioxidant dietary fiber and high antioxidant capacity oil. *Food Research International*, 44 : 2100-2106.
- Saïdou, A., Kuyper, T.W., Kossoul, O.K., Tossou, R. et Richards, P. (2004). Sustainable soil fertility management in Benin: learning from farmers. *Wageningen Journal of Life Sciences (NJAS)*, 52 (3/4) : 349-369.
- Salati, E. (1985). The climatology and hydrology of Amazonia. Dans *Key Environments. Amazonia*, Prance G.T. and Lovejoy T.T. (Eds.), Oxford: Pergamon Press, p.18-48.
- Sampaio da Silva, D., Lucotte, M., Roulet, M., Poirier, H., Mergler D. et Crossa. M. (2006). Mercúrio nos peixes do Rio Tapajós, Amazônia brasileira, *InterfaceHS*, 1 (1) : 31 p.
- Sanchez, P.O. et Logan, T.J. (1992). Myths and Science about the Chemistry and Fertility of Soils in the Tropics. Chapitre 3 de *Chemistry and fertility of tropical soils*, 37-46.
- Sandström, A., et Rova. C. (2010). Adaptive co-management networks: a comparative analysis of two fishery conservation areas in Sweden. *Ecology and Society*.
- Santana, A.C., Campos, P.S. da Silva, Ramos, T.J.N., Galate, R.R. dos Santos et Mota, A.V. (2011). O mercado de frutas no estado do Pará: 1985 a 2005. *Revista de Estudos Sociais*, 26 (13), p. 174.
- São José, A.R., Pires, M.M., Gomes, A.L., Freitas, E., Ribeiros, D.P. et Perez, L.A.A. (2014). *Atualidades e perspectivas das anonáceas no mundo*, 36 : 86-93.
- Saragoni, H., Poss R. et Oliver. R. (1990). Dynamique et lixiviation des éléments minéraux dans les terres de barre du sud du Togo. *L'agronomie tropicale*, 45 (4) : 259-273.
- SAS Institute. (2003). JMP – versions 7.0.1 and 10. Computer statistical software. Cary, NC, USA.

- Scherr, S.J. (1991). On-farm research : the challenges of agroforestry. *Agroforestry Systems*, 15 : 95-110.
- Schoereder, J.H. et da Silva, W.L. (2008). Leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) and soil classes: Preference, survival and nest density. *Sociobiology*, 52 : 403-415.
- Scoles, R., Gribel, R. et Klein, G.N. (2011). Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. *Bol. Mus. Pará. Emilio Goeldi. Cienc. Nat.*, Belém, 6 (3) : 273-293.
- Semedo, R.J et Barbosa, R.I. (2007). Árvores frutíferas nos quintais urbanos de Boa Vista, Roraima, Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 37 (4) : 497-504.
- Sena, J.S., Tucci, C.A.F., Lima, H.N. et Harra, F.A.S. (2006). Efeito da calagem e da correção dos teores de Ca e Mg do solo sobre o crescimento de mudas de angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). *Acta Amazonica*, 40 (2) : 309-318.
- Silva, C.E.M., Gonçalves, J.F.C., Feldpausch, T.R., Luizão, F.J., Morais, R.R. et Ribeiro, G.O. (2006). Eficiência no uso dos nutrientes por espécies pioneiras crescidas em pastagens degradadas na Amazônia central. *Acta Amazonica*, 36 (4) : 503-512.
- Silva, G.L., Lima, H.V., Campanha, M.M., Gilkes, R.J. et Oliveira, T.S. (2011). Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma*, 67-168 : 71-70.
- Siren, A.H. (2007). Population Growth and Land Use Intensification in a Subsistence-based Indigenous Community in the Amazon. *Human Ecology*, 35 : 669-680.
- Smith, N.J.H., Williams J.T., Plucknett, D.L. et Talbot, J.P. (1992). *Tropical forests and their crops*. Cornell University Press, Comstock Publishing Associates, NY, USA, 584 p.
- Sobrado, M.A. (2014). Relationship between Leaf Micro- and Macro-Nutrients in Top Canopy Trees in a Mixed Forest in the Upper Rio Negro in the Amazon Region. *American Journal of Plant Sciences*, 5 : 1423-1431.

- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd Edition*. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Washington D.C. 871 p.
- Sommer, R., Vlek, P.L.G., Sa, T.D. de A., Vielhauer, K., De Fatima Rodrigues Coelho, R et Folster, H. (2004). Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon – evidence for subsoil nutrient accumulation. *Nutrient Cycling*, 68 : 257-271.
- Sorrensen, C. (2009). Potential hazards of land policy: Conservation, rural development and fire use in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 26 : 782-791.
- Sousa, C.R., Azevedo, C.P, Rossi, L.M.B. et Bezerra, R.M. (2008) *Castanha-do-Brasil (Bertholletia excelsa Humb. & Bonpl.)*. Documentos 60. Embrapa Amazônia Ocidental Manaus, AM, 22 p.
- Sternberg, H.O. (1987). Aggravation of Floods in the Amazon River as a Consequence of Deforestation? *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 69 (1) : 201-219.
- Struve, D.K. (2009). Tree Establishment: A Review of Some of the Factors Affecting Transplant Survival and Establishment. *Arboriculture & Urban Forestry*, 35 (1) : 10-13.
- Svoray, T. et Ben-Said, S. (2010) Soil loss, water ponding and sediment deposition variations as a consequence of rainfall intensity and land use: a multi-criteria analysis. *Earth Surf. Process. Landforms*, 35 : 202-216.
- Synergy Software Reading. Kaleidagraph 4.1.2. PA, USA.
- Tornquist, C.G., Honsb, F.M., Feagley S.E. et Hagggar, J. (1999). Agroforestry system effects on soil characteristics of the Sarapiquí region of Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 73 : 19-28.
- Tremblay, S., Lucotte, M., Reveret, J.-P., Davidson, R. Mertens, F., Passos, C.J. et Romana, C.A. (2015). Agroforestry systems as a profitable alternative to slash and burn practices in small-scale agriculture of the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, 89 : 193-204.
- Tripoli, T., La Guarda, M., Giammanco, S., Majo, D.D. et Giammanco, M. (2007). Citrus flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties: A review. *Food Chemistry*, 104 : 466-479.

- Tsakalimi, M., Ganatsas, P. et Jacobs, D.F. (2012). Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New Forests*, DOI 10.1007/s11056-012-9339-3.
- United States Department of Agriculture (Natural Resources Conservation Service). (2015). Soil texture calculator. Disponible à : http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167
- Valadão, L. (2009). O papel das lideranças comunitárias em projetos de saúde e ambiente: uma análise das redes sociais em comunidades do Rio Tapajós, Pará. Dissertação de Mestrado de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 81 p.
- Valentin, C. and Janeau, J.L. (1990). Les risques de dégradation structurale de la surface des sols en savane humide (Côte d'Ivoire). *Cahiers ORSTOM*, Série Pédologie, 25: 41-52.
- Valentin, C., Agus, F., Alamban, R., Boosaner, A., Bricquet, J.P., Chaplot, V., de Guzman, T., de Rouw, A., Janeau, J.L., Orange, D., Phachomphonh, K., Duy Phai, Do., Podwojewski, P., Ribolzi, O., Silveira, N., Subagyo, K., Thiébaux, J.P., Toha, T.D. et Vadari, T. (2008). Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impacts of rapid land use changes and conservation practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 128 : 225-238.
- Verardo, D. J., Froelich, P. N. et McIntyre, A. (1990). Determination of organic carbon and nitrogen in marine sediments using the Carlo-Erba NA-1500 analyzer. *Deep-Sea Res*, 37 (1) : 157-165.
- Villachica, H., Carvalho, J.E.U., Müller, C.H., Díaz, C. et Almanza, M. (1996). *Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia*. Lima, Peru, Tratado de Cooperacion Amazonica - Secretaria Pro-tempore. 367 p.
- Vitousek, P.M. et Sanford, R.L. (1986). Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17 : 137-167.
- Vosti, S.A. et Witcover, J. (1996). Slash-and-burn agriculture household perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 58 ; 23-38.
- Watanabe, T. et Osaki, M. (2002). Mechanisms of adaptation to high aluminum condition in native plant species growing in acid soils: a review. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 33 (7-8) : 1247-1260.

- Wei, L.C. et Fu, B. (2009). Effects of rainfall change on water erosion processes in terrestrial ecosystems: a review. *Progress in Physical Geography*, 33 : 307.
- Went, F.W. (1973). Competition Among Plants. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 70 (2) : 585-590.
- Willis, G.H. et McDowell. L.L. (2009). Review: Pesticides in Agricultural Runoff and Their Effects on Downstream Water Quality. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1 (4) : 267-279.
- Wright, S.J. (2002). Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia*, 130 : 1-14



FIN • FIM • END

